



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA EN LA ESCUELA DE CAMINOS DE SANTANDER

Trabajo realizado por:
María Ramos Martín

Dirigido:
Pablo Pascual Muñoz

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, Febrero de 2019

TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA EN LA ESCUELA DE CAMINOS DE SANTANDER

AUTOR: María Ramos Martín

DIRECTOR: Pablo Pascual Muñoz

CONVOCATORIA: febrero de 2019

PALABRAS CLAVE: Estudio, Geotermia

OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente proyecto tiene por objeto analizar y proponer el diseño del sistema de captación de calor de los edificios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria mediante el uso de la energía geotérmica. Para ello, se realizarán los cálculos necesarios para obtener el número de sondeos, los elementos esenciales para llevar a cabo la instalación y posterior ejecución. Se detallarán los puntos fundamentales para su correcto análisis como son: el emplazamiento de la obra, la climatología, la geología, las fluctuaciones energéticas a lo largo del año tomando como referencia los consumos actuales. Con todo ello se simularán las diferentes opciones que podemos ejecutar para el apropiado funcionamiento del sistema escogido y finalmente, seleccionaremos la solución constructiva que mejor se haya adecuado a los requisitos establecidos, también haremos una comparativa del rendimiento frente a la situación actual para concluir nuestro estudio.

CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

Donde exponemos la ubicación y las características geológicas y climatológicas que afectan a nuestras instalaciones geotérmicas que se sitúan en la Escuela de Caminos, en la Avenida de Los Castros en Santander. Donde la temperatura media es de 14°C, los inviernos son suaves y la geología existente en la zona para un sondeo de hasta 400 m sería de muro a techo:

- Fm. Bielva: Compuesta por areniscas amarillentas y blancas bituminosas, de facies fluviales y, en la parte superior, por margas arcillosas con intercalaciones de calcarenitas o areniscas calcáreas y nódulos de pirita. También alguna capa de caliza y bancos calcareníticos. Su potencia es de unos 150 m.
- Fm. Altamira: Compuesta por calizas bioclásticas, bien estratificadas en bancos de 20 a 80 cm, que presentan intercalaciones de margas hojosas bioclásticas y, puntualmente, algo arenosas de color gris e indicios de karstificación, esto hace que su techo sea irregular, al igual que su potencia. Son similares a las de la Formación El Sardinero. Su potencia es variable, aproximada de unos 50-70 m, con un máximo de 150 m.
- Fm. El Sardinero: Constituida por una alternancia monótona de margas hojosas y calizas arcillas que en la parte inferior contienen abundante glauconita y fauna pelágica y que, puntualmente, puede estar parcialmente dolomitizada. Su potencia aumenta, de Oeste a Este de 500 a 900 m.

BASES DE DISEÑO

Las bases de diseño usadas para el dimensionamiento del sistema geotérmico a partir de los requisitos de demanda energética de los edificios de la escuela de caminos y tomando como referencia los datos de sus instalaciones actuales, que en este caso son gemelas y están compuestas por dos calderas convencionales de gas: una marca ROCA modelo TR-3 de 488,4 kW de potencia y otra marca ROCA modelo NTD-200 de 232,6kW de potencia, con un rendimiento real del 84%.

Y a partir de las características geológicas del terreno para conocer la cantidad de calor que es posible extraer. Que en nuestro caso haremos una media entre los valores de las margas y las calizas, puesto que su espesor es muy similar. Por lo que deducimos que nuestro sondeo tendrá una conductividad térmica efectiva de 2,4 W/mK y una capacidad térmica media de 2,2 MJ/m³K. Con estos datos finalmente elegimos dos bombas de calor reversible DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V que funciona automáticamente en modo refrigeración o calefacción, con una potencia calorífica de 366 kW y una potencia frigorífica de 328 kW.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Para determinar el número de sondeos, su profundidad y configuración se parte de los datos de demanda energética del edificio y de la maquinaria a instalar, y se procede a la simulación del comportamiento térmico del subsuelo para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación a lo largo de un periodo de vida útil de 25 años. Dicho cálculo se ejecuta mediante el software EED 3.2, muy habitual en el diseño de intercambiadores verticales.

Se realizaron un total de 8 simulaciones, 3 en el edificio de caminos laboratorios y 6 en el edificio de caminos aulas, debido a que sus resultados son prácticamente iguales. Las distintas simulaciones se diferencian en el tipo de sonda elegido, U simple o U doble; si tenemos o no en cuenta valores de pico en los meses de enero y febrero, que son los más fríos; y si nuestra instalación va a trabajar sólo en régimen de calefacción o en régimen de calefacción y refrigeración.

PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Finalmente hacemos el cálculo del presupuesto de la Simulación 3 y de la Simulación 6, del edificio de Caminos-Laboratorios y Caminos-Aulas, respectivamente. En un primer análisis se observamos que estas simulaciones sólo se utilizan para calefacción por lo que sería recomendable incorporar una instalación de Aire Acondicionado para que sea más eficiente.

Obtenemos un presupuesto de ejecución material de 400.989,76 €, detallando los diferentes elementos del tramo horizontal y de los sondeos verticales descritos en la base de diseño. Y un presupuesto base de licitación de la instalaciones de 577.385,16 €.

STUDY OF GEOTHERMAL INSTALLATION AT ETSICCP OF SANTANDER

AUTHOR: María Ramos Martín

DIRECTOR: Pablo Pascual Muñoz

CALL: febrero de 2019

KEYWORDS: Study, Geothermal energy

THE PURPOSE OF THE STUDY

The objective of this project is to analyze and propose the design of the heat capture system of the buildings of the Higher Technical School of Civil Engineers of the University of Cantabria through the use of geothermal energy. For this, the necessary calculations will be made to obtain the number of probes, the essential elements to carry out the installation and subsequent execution. The fundamental points for its correct analysis will be detailed as they are: the site of the work, the climatology, the geology, the energy fluctuations throughout the year taking as reference the current consumption. With all this, we will simulate the different options that we can execute for the proper functioning of the chosen system and finally, we will select the constructive solution that best meets the established requirements, we will also make a comparative performance against the current situation, to conclude our study.

SITE CHARACTERISTICS

Where we expose the location and the geological and climatological characteristics that affect our geothermal installations that are located in the Escuela de Caminos, in the Avenida de Los Castros in Santander. Where the average temperature is 14°C, the winters are mild and the existing geology in the area for a sounding of up to 400 m would be from wall to roof:

- Fm. Bielva: Composed by yellowish and bituminous white sandstones, of fluvial facies and, in the upper part, by clay loams with intercalations of calcarenites or calcareous sandstones and pyrite nodules. Also some limestone layer and calcarenitic banks. Its power is about 150 m.
- Fm. Altamira: Composed of bioclastic limestones, well stratified in banks of 20 to 80 cm, that present intercalations of bioclastic leafy marls and, punctually, something Sandy and gray and indications of karstification, this makes its roof irregular, as does its power. They are similar to those of the Fm El Sardinero. Its power is variable, approximately 50-70 m, with a maximum of 150 m.
- Fm. El Sardinero: Constituted by a monotonous alternation of leafy marls and limestone clays that in the lower part contain abundant glauconite and pelagic fauna and that, occasionally, can be partially dolomitized. Its power increases, from West to East from 500 to 900 m.

BASES OF DESIGN

The design bases used for the sizing of the geothermal system based on the energy demand requirements of the buildings of the Escuela de Caminos and taking as reference the data of their current facilities, which in this case are twins and are composed of two conventional gas boilers: the first one, its brand is ROCA and its model is TR-3 with 488.4 kW of power and the other one its brand is ROCA and its model is NTD-200 with 232.6 kW of power, with a real efficiency of 84%.

And from the geological characteristics of the ground to know the amount of heat that can be extracted. In our case we will make an average between the values of marls and limestones, since their thickness is very similar. So we deduce that our survey will have an effective thermal conductivity of 2.4 W / mK and an average thermal capacity of 2.2 MJ / m³K.

With this data we finally chose two reversible heat pumps DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V that works automatically in cooling or heating mode, with a heat output of 366 kW and a cooling capacity of 328 kW.

STUDY OF ALTERNATIVES

To determine the number of soundings, its depth and the configuration of the same part of the energy demand data, the building and the installation machinery, and the result of the simulation of the thermal behavior of the subsoil to ensure the correct functioning of the installation in the long term. of a useful life period of 25 years. This is the calculation of EED 3.2, very common in the design of vertical exchangers.

A total of 8 simulations were carried out, 3 in the laboratory building and 6 in the classrooms building, due to their results. The different simulations differ in the type of probe chosen, simple U or double U; whether or not we have peak values in the account in the months of January and February, which are the coldest; and if our installation is going to work only in a heating regime or in a heating and cooling regime.

BUDGET

Finally we calculate the budget of Simulation 3 and Simulation 6, of the building of Roads-Laboratories and Roads-Classrooms, respectively. In a first analysis we observed that these simulations are only used for heating so it would be advisable to incorporate an installation of Air Conditioning to make it more efficient. We obtain a material execution budget of € 400,989.76, detailing the different elements of the horizontal section and the vertical soundings described in the design basis. And a bid base budget of € 577,385.16.

ÍNDICE

ÍNDICE	2
LISTADO DE TABLAS	5
1. OBJETO DEL PROYECTO	6
2. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	7
2.1. Problemática energética	7
2.2. Definición	9
2.3. Evolución de la temperatura con la profundidad	11
2.4. Funcionamiento	13
2.5. Sistemas de intercambiadores	16
3. REGULACIÓN LEGISLATIVA Y NORMATIVA	21
3.1. Normativa básica	21
3.2. Exigencia de eficiencia energética	22
3.3. Aprovechamiento de energías renovables	24
4. INSTALACIÓN EN LA ETSICCP DE SANTANDER	25
4.1. Localización	28
4.2. Climatología	30
4.3. Marco geológico	32
4.4. Bases de diseño	38
4.5. Dimensionamiento del campo de sondas	46
4.6. Ejecución del campo de sondas	72
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXO 1: CÁLCULOS	84
1. INTRODUCCIÓN	85
2. CAUDAL POR INTERCAMBIADOR	85
ANEXO 2: MATERIALES Y MAQUINARIA	87
1. BOMBA DE CALOR	88
2. BOMBA DE CIRCULACIÓN	89
3. ANTICONGELANTE	91
4. TUBERIA PE100	93
5. COLECTOR MODULAR REAHU	94
6. UNIONES EN "Y" Y DISTANCIADORES REAHU	94

7. MANGUITOS SOLDABLES REAHU	96
8. MORTERO DE RELLENO DE LOS SONDEOS	98
PRESUPUESTO	99
1. PRESUPUESTO Y MEDICIONES.....	100
2. RESUMEN DE PRESUPUESTO.....	109
PLANOS	111

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Consumo de energía primaria por fuentes energéticas.....	8
Ilustración 2. Consumo de energía por sectores	8
Ilustración 3: Usos de la energía geotérmica en función de la temperatura	10
Ilustración 4. Fluctuación estacional de la temperatura superficial a lo largo de un año.....	11
Ilustración 5. Influencia de la temperatura solar y geotérmica.....	12
Ilustración 6. Funcionamiento de una bomba geotérmica.....	14
Ilustración 7. Esquema de la instalación geotérmica	15
Ilustración 8. Esquema de aplicación de sondeos de captación de agua someros	17
Ilustración 9. Intercambiadores subterráneos horizontales con conexión en serie y en paralelo.....	18
Ilustración 10. Sondeos geotérmicos verticales, con conexiones en el campo o con distribuidor múltiple en el edificio	19
Ilustración 11. Instalación de geotermia vertical.....	26
Ilustración 12. Edificio de Caminos-Laboratorios y parking de E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.....	29
Ilustración 13. Edificio principal y jardines de E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.....	30
Ilustración 14. Tabla de temperaturas, precipitaciones y humedad en el Aeropuerto de Santander	31
Ilustración 15. Mapa geológico de España, HOJA 35 (Escala 1:50.000)	33
Ilustración 16. Sinclinal de Santillana- San Román	33
Ilustración 17. Situación geológica de la Escuela de Caminos (Escala 1:10.000)	34
Ilustración 18. Perfil del terreno en el área de estudio (Escala 1:20.000)	35
Ilustración 19. Perfil estratigráfico de la profundidad de las sondas en baja entalpía	37
Ilustración 20. DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V	41
Ilustración 21. Propiedades térmicas del suelo S1 EED.....	47
Ilustración 22. Características del intercambiador de calor S1 EED.....	47
Ilustración 23. Demandas energéticas mensuales S1 EED	48
Ilustración 24. Gráfica de los picos mensuales S1 EED	48
Ilustración 25. Rango restrictivo de las temperaturas del fluido caloportador S1 EED.....	49
Ilustración 26. Tabla de las estimaciones por cada simulación S1 EED	49
Ilustración 27. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la primera simulación EED	50
Ilustración 28. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la primera simulación EED	51
Ilustración 29. Tabla de las estimaciones por cada simulación S2 EED	52

Ilustración 30. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la segunda simulación EED	53
Ilustración 31. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la segunda simulación EED	54
Ilustración 32. Tabla de las estimaciones por cada simulación S3 EED	56
Ilustración 33. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la tercera simulación EED	57
Ilustración 34. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la tercera simulación EED	57
Ilustración 35. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la cuarta simulación EED	59
Ilustración 36. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la cuarta simulación EED	60
Ilustración 37. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la quinta simulación EED	61
Ilustración 38. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la quinta simulación EED	62
Ilustración 39. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la sexta simulación EED	63
Ilustración 40. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la sexta simulación EED	64
Ilustración 41. Demandas energéticas mensuales S7 EED	66
Ilustración 42. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la séptima simulación EED	67
Ilustración 43. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la séptima simulación EED	67
Ilustración 44. Demandas energéticas mensuales S8 EED	69
Ilustración 45. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la octava simulación EED	70
Ilustración 46. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la octava simulación EED	70
Ilustración 47. Tipos de perforación	72
Ilustración 48. Desenrollador	75

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Superficie por plantas de Caminos-Laboratorios	28
Tabla 2. Superficie por planta en Caminos-Aulas	29
Tabla 3. Consumos de gas 2017 en Caminos-Laboratorios	39
Tabla 4. Consumos de gas 2017 en Caminos-Aulas	40

1. OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene por objeto analizar y proponer el diseño del sistema de captación de calor de los edificios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria mediante el uso de la energía geotérmica. Para ello, se realizarán los cálculos necesarios para obtener el número de sondeos, los elementos esenciales para llevar a cabo la instalación y posterior ejecución. Se detallarán los puntos fundamentales para su correcto análisis como son: el emplazamiento de la obra, la climatología, la geología, las fluctuaciones energéticas a lo largo del año tomando como referencia los consumos actuales. Con todo ello se simularán las diferentes opciones que podemos ejecutar para el apropiado funcionamiento del sistema escogido y finalmente, seleccionaremos la solución constructiva que mejor se haya adecuado a los requisitos establecidos, también haremos una comparativa del rendimiento frente a la situación actual para concluir nuestro estudio.

El hecho de seleccionar este tipo de energía renovable, y no otra, está fundamentado en las ventajas que tiene la energía geotérmica, relacionadas con su autonomía, mínimo mantenimiento, seguridad y durabilidad, así como otras características relativas a su limpieza y ausencia de ruidos.

La climatización supone más del 65% del consumo energético de edificaciones en España, según el IDAE. Utilizando la energía geotérmica como alternativa para la calefacción y refrigeración de un edificio, así como para la obtención de agua caliente sanitaria, vamos a comprobar hasta qué punto se podrá reducir el gasto energético de manera sostenible y su periodo de amortización.[1]

2. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

2.1. Problemática energética

La vida en la Tierra se debe a una serie de condiciones que no aparecen en ningún otro planeta conocido hasta el momento. Una de las más relevantes e indispensable para que esto sea posible es el calor, ésta permite la existencia de agua líquida en nuestra superficie.

Uno de los factores que regulan la temperatura en nuestro planeta es la cantidad de radiación solar que nos llega.

De la radiación solar que nos alcanza, una parte es reflejada y devuelta al espacio mientras que la otra se adentra en la atmósfera. Con lo cual, la composición gaseosa de nuestra atmósfera es elemento clave para determinar la temperatura del planeta.

El porcentaje de gases de efecto invernadero en la atmósfera permaneció constante durante miles de años, pero con la llegada de la revolución industrial se rompió este equilibrio. El consumo de combustibles fósiles hizo que proliferase un rápido desarrollo tecnológico, aunque a su vez, se vertió una gran cantidad de carbono a la atmósfera en un breve periodo de tiempo.

Este incremento de CO₂, junto con otros gases de efecto invernadero, provocó que una mayor cantidad de radiación solar empezara a quedarse atrapada en la atmósfera produciendo un aumento en la temperatura global.

La Unión Europea y sus países miembros acordaron, para hacerle frente a este problema, el "objetivo 20 20 20" que consiste en cumplir para el año 2020 los siguientes objetivos[2]:

- Reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al año 1990.
- Reducir un 20% el consumo de energía promoviendo la eficiencia energética.
- El 20% de la energía consumida procederá de energías renovables.

Si hablamos de España, nuestra economía se basa en el uso de fuentes fósiles como recurso energético, a pesar de que estos recursos son escasos en nuestro territorio.

En consecuencia, España tiene una gran dependencia de recursos energéticos de terceros países. Que se deriva en que el coste de nuestra energía sea muy elevado en comparación con otros países de nuestro

entorno, lo que repercute en una industria menos competitiva, provocando la deslocalización de algunas empresas y dificultando la creación de nuevas plantas.

Aunque en los últimos años se ha reducido el consumo de recursos energéticos no renovables, si hacemos un repaso a la situación actual de los principales sectores donde se consumen este tipo de recursos, veremos que aún queda un largo camino por recorrer.

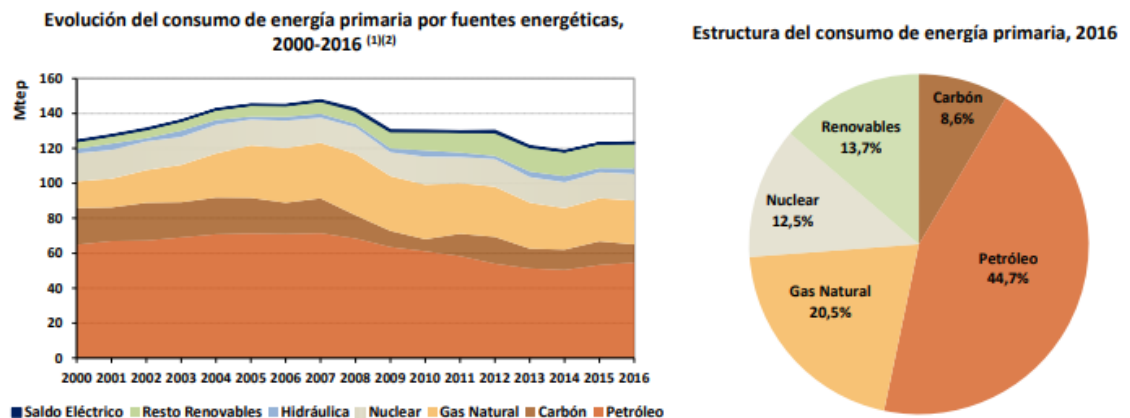


Ilustración 1. Consumo de energía primaria por fuentes energéticas

(Fuente: IDAE[1])

En esta primera gráfica vemos que actualmente, aunque se ha ido incrementando la aportación de las energías renovables al cómputo final de nuestros recursos energéticos, ésta todavía es del 13,7%, lejos de ese 20%. [1]

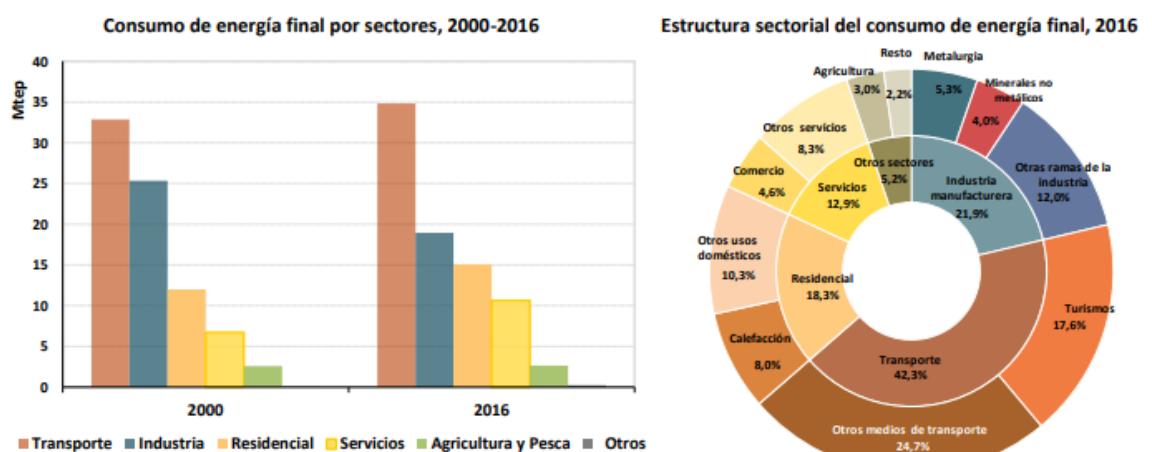


Ilustración 2. Consumo de energía por sectores

(Fuente: IDAE[1])

En esta segunda gráfica observamos el consumo de energía por sectores, donde el transporte, seguido de la industria y el sector residencial son sus principales usuarios. [1]

En el asunto del sector residencial, ya sean edificios particulares o edificios públicos, como es nuestro caso de estudio, se consume gran cantidad de energía, y no siempre de la manera más eficiente. Como podemos advertir, prácticamente la mitad del consumo es el gasto en calefacción, por lo que si mejoramos su eficiencia podremos reducir este consumo.[2]

Para mejorar la demanda energética de un edificio podemos actuar sobre varios factores:

- Mejorar la envolvente del edificio
- Mejorar el rendimiento de las instalaciones
- Mejorar los hábitos de los usuarios
- Instalar energías renovables

En nuestro caso de estudio vamos a centrarnos en este último punto, proponiendo una instalación de energía geotérmica para el suministro de calefacción, producción de A.C.S. y climatización.

2.2. Definición

El término geotermia proviene del griego *geo* (Tierra) y *thermos* (calor), es decir, " el calor de la Tierra". La energía geotérmica es un tipo de energía renovable que se obtiene aprovechando el calor que existe almacenado en el subsuelo. [3]

Este calor es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, por lo que es necesario disponer de un fluido (generalmente agua) para transportarlo hacia la superficie de forma concentrada, ya sea mediante sondeos, sondas térmicas, colectores horizontales, o mediante intercambiadores de calor tierra-aire enterrados a poca profundidad en el subsuelo, como describiremos más adelante. [3]

Una vez en superficie, el fluido geotermal, en función de su contenido en calor se destinará a la producción de energía eléctrica (si es posible) o se aprovechará directamente, empleando intercambiadores de calor, en calefacción y climatización. [3]

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su contenido en calor, o lo que es lo mismo, de su entalpía (cantidad de energía térmica que el fluido puede intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg). [3]

No se puede medir directamente la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero sí su temperatura, y como la entalpía y la temperatura pueden considerarse proporcionales, se ha generalizado el empleo de las temperaturas de los fluidos geotermiales en lugar de su contenido en calor.

Así, podemos establecer cuatro categorías para clasificar la energía geotérmica y sus usos como veremos en la ilustración 13 [3]:

- **Alta temperatura:** entre 150°C y 400°C, permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
Su aprovechamiento se realiza a través de perforaciones muy parecidas a las de extracción de petróleo. A partir de dicha instalación se saca el vapor a la superficie donde, mediante una turbina, se genera electricidad.
- **Media temperatura:** entre 90 y 150°C, permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.
- **Baja temperatura:** entre 30 y 90°C, es insuficiente para producir energía eléctrica, aunque se puede aprovechar para calefacción y en determinados procesos industriales y agrícolas.
En este caso se aprovecha la diferencia de temperatura entre el subsuelo más próximo y el exterior de la superficie terrestre realizando un intercambio de calor.
- **Muy baja temperatura:** menos de 30°C, su aprovechamiento se realiza con bombas de calor para calefacción o refrigeración.

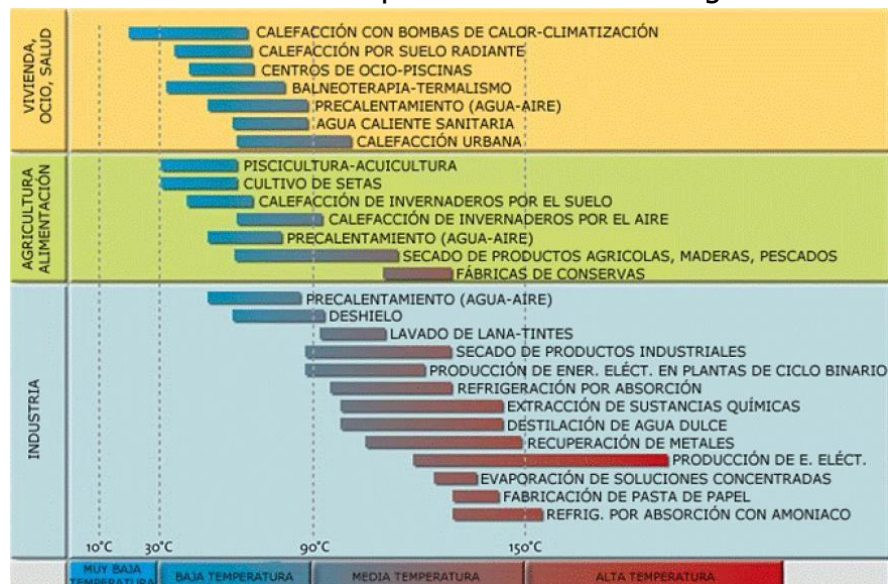


Ilustración 3: Usos de la energía geotérmica en función de la temperatura
(Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM)

2.3. Evolución de la temperatura con la profundidad

La temperatura media de la superficie terrestre es de alrededor de unos 13°C, aunque varía mucho de unos lugares a otros. Las variaciones diarias de temperatura ambiente pueden detectarse hasta una profundidad de 0,5m de la superficie y las fluctuaciones estacionales hasta una profundidad de unos 10m, a partir de la cual, la temperatura se mantiene constante y se aproxima la media anual del aire ambiental en esa zona determinada. Como vemos a continuación. [5]

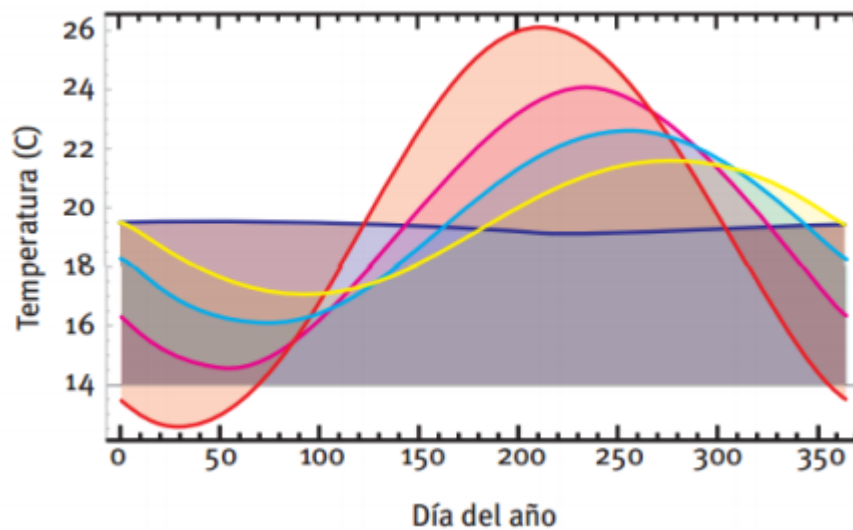


Ilustración 4. Fluctuación estacional de la temperatura superficial a lo largo de un año

(Fuente: IDAE)

Datos:

- **Curva roja:** Oscilación natural, inmediatamente bajo la superficie.
- **Curva magenta:** a 1m bajo la superficie.
- **Curva azul claro:** a 2m bajo la superficie.
- **Curva amarilla:** a 3m bajo la superficie.
- **Curva azul oscuro:** a 10m bajo la superficie.

A medida que aumentamos la profundidad en el terreno, la evolución de la temperatura se va amortiguando hasta permanecer constante. [5]

También se aprecia como en verano e invierno, debido a la propia inercia del terreno, las temperaturas máximas y mínimas del suelo se retrasan unas cuatro semanas comparadas a las temperaturas superficiales del suelo. [5]

El gradiente geotérmico se define como la variación de temperatura con la profundidad, estando determinado en unidades de $^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Con respecto a dicho gradiente y exceptuando zonas concretas con actividad magmática, pueden diferenciarse tres profundidades típicas. [3]

Como hemos apreciado en la gráfica, es aproximadamente a partir de los 10m de profundidad hasta los 50m cuando se considera que el terreno está a una temperatura constante todo el año. Este valor está relacionado directamente con el clima, la vegetación, la cobertura del suelo, las precipitaciones, la pendiente, la circulación subterránea de agua... y, por supuesto, con las propiedades generales del terreno. [3]

Por debajo de dicha profundidad y hasta profundidades de unos 100 m existe un gradiente geotérmico variable, al estar aún las temperaturas bajo la influencia de dichos fenómenos de intercambio superficial. [3]

Una vez superada esa profundidad suele establecerse ya un gradiente geotérmico claro y la temperatura generalmente se incrementa con la profundidad, aunque dicho incremento puede ser muy variable según las condiciones tectónicas y propiedades térmicas del suelo. Por normal general suele estimarse que el gradiente geotérmico, a partir de dichas profundidades y en suelos estables tectónicamente oscila entre 15-30 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ o entre 1,5-3 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ como vemos en la ilustración 5. [3]

Desde el punto de vista del diseño y dimensionado de intercambiadores geotérmicos para aplicaciones de muy baja entalpía, se deduce de lo anterior que el gradiente geotérmico es un factor a tener en cuenta únicamente en sistemas verticales de más 100m de profundidad. [3]

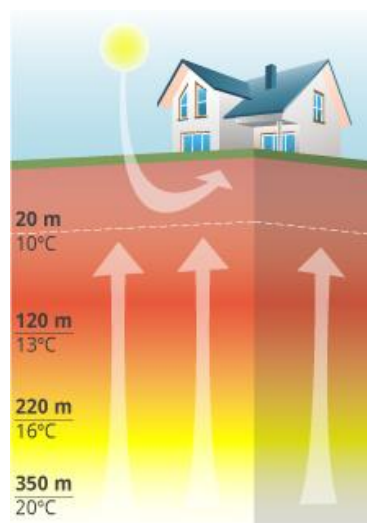


Ilustración 5. Influencia de la temperatura solar y geotérmica

(Fuente: www.groen.es)

2.4. Funcionamiento

Ahora que ya sabemos que el subsuelo es capaz de mantener una temperatura constante similar a la media anual y a escasa profundidad, vamos a tratar de considerarlo como una fuente de calor o frío en función de nuestras necesidades. [5]

Según las leyes de la termodinámica, el calor se transfiere, de forma natural, de un medio a cierta temperatura a otro que se encuentre a menor temperatura. Por lo que bastaría con poner en contacto el subsuelo con otro material a mayor o menor temperatura para poder aprovecharlo como un almacén de calor gratuito y de gran volumen. [5]

Son estas características las que hacen que sea especialmente apropiado para ser utilizado en instalaciones de muy baja temperatura, como son la calefacción y climatización de edificios, así como la producción de agua caliente sanitaria mediante la utilización de sistemas geotérmicos, también llamados sistemas de bombas de calor geotérmicas. [5]

El uso de sistemas geotérmicos para la calefacción y la climatización de edificios puede suponer importantes ahorros de energía. Si los comparamos con sistemas clásicos, el consumo de energía se reduce entre un 30% y 70% en calefacción, y entre un 20% y un 95% en refrigeración. [5]

Ahora veremos porqué esto es posible. Los sistemas geotérmicos de baja entalpía están compuestos por tres subsistemas principales:

- Un **intercambiador de calor subterráneo**, que extrae calor del subsuelo o evacúa el calor de un edificio.
- Una **bomba de calor**, que transfiere el calor entre el intercambiador de calor subterráneo y el sistema de distribución de un edificio.
- Un **sistema de distribución** que encauza el calor o el frío a las diferentes estancias del edificio a aclimatar.

El calor natural de suelo se recoge a través de un fluido caloportador (normalmente agua con anticongelante) que circula por el interior del intercambiador de calor subterráneo, y es transportado por una red de tubos enterrados hasta la bomba de calor, situada en el interior del edificio, donde se produce el intercambio y, una vez enfriado, retorna al subsuelo en circuito cerrado para captar más calor. Si ese fluido es agua subterránea (sistemas abiertos), se devuelve al propio acuífero. [5]

Vamos a analizar con detalle el proceso que tiene lugar en el interior de la bomba de calor geotérmica para que sea posible tanto ceder calor, como extraerlo del edificio; realizar el intercambio entre el terreno y el edificio, y a su vez, se repita un proceso similar al del interior del edificio en el terreno. Veremos los 4 puntos del funcionamiento de la bomba [5]:

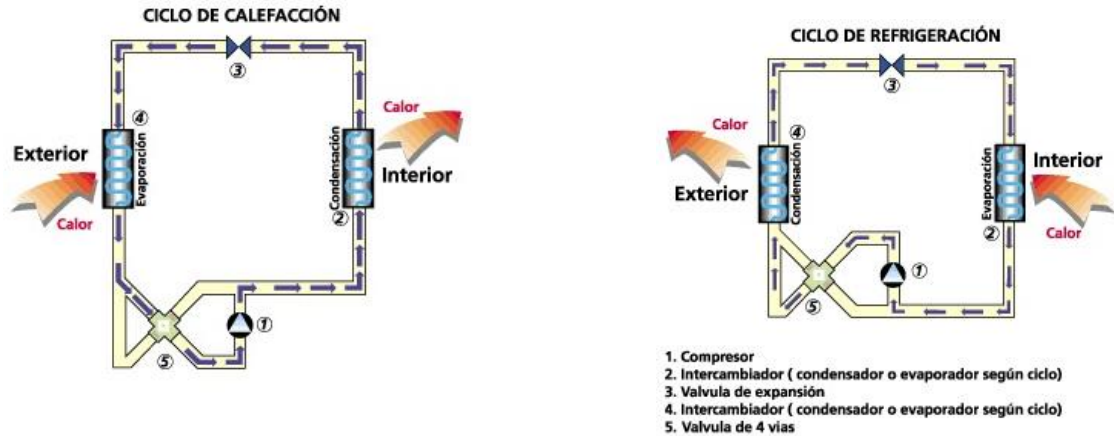


Ilustración 6. Funcionamiento de una bomba geotérmica

(Fuente: geotermiaavanzada.blogspot.com)

- **1:** El agua de la captación geotérmica exterior entra en contacto con el evaporador a través de un serpentín evaporando el gas refrigerante en estado líquido que está más frío que dicho agua.
- **2:** El gas refrigerante evaporado es comprimido por un compresor lo que aumenta su temperatura.
- **3:** El gas refrigerante que ha sido comprimido es condensado (en el condensador) provocando la liberación de calor que servirá para calentar el interior de su vivienda. Dicho gas condensado vuelve a convertirse en gas refrigerante en estado líquido.
- **4:** El gas refrigerante en estado líquido se desplaza hacia la válvula de expansión que baja su temperatura y presión y lo devuelve al evaporador para reiniciar el proceso 1.

En modo refrigeración se invierte el sentido de funcionamiento del sistema, como podemos ver en el segundo esquema del funcionamiento de la bomba de calor geotérmica, por lo que el calor excedente del edificio es evacuado al suelo fresco [5].

La instalación geotérmica también puede utilizarse para producir agua caliente sanitaria, calentando el agua de un depósito al recuperar parte

del calor refrigerante de la bomba de calor. También es necesario disponer de una resistencia eléctrica que mantenga un calentamiento a 70°C como prevención de la legionella en el agua caliente sanitaria. Otra opción es producir agua caliente sanitaria con la ayuda de otra bomba de calor agua-agua independiente, que puede funcionar todo el año. [5]

En ambos casos se recomienda disponer de depósitos de agua grandes para asegurar la producción de agua caliente. El gran tamaño de los tanques facilita que el uso del compresor pueda ser optimizado como vemos en la ilustración 7, a continuación. [5]

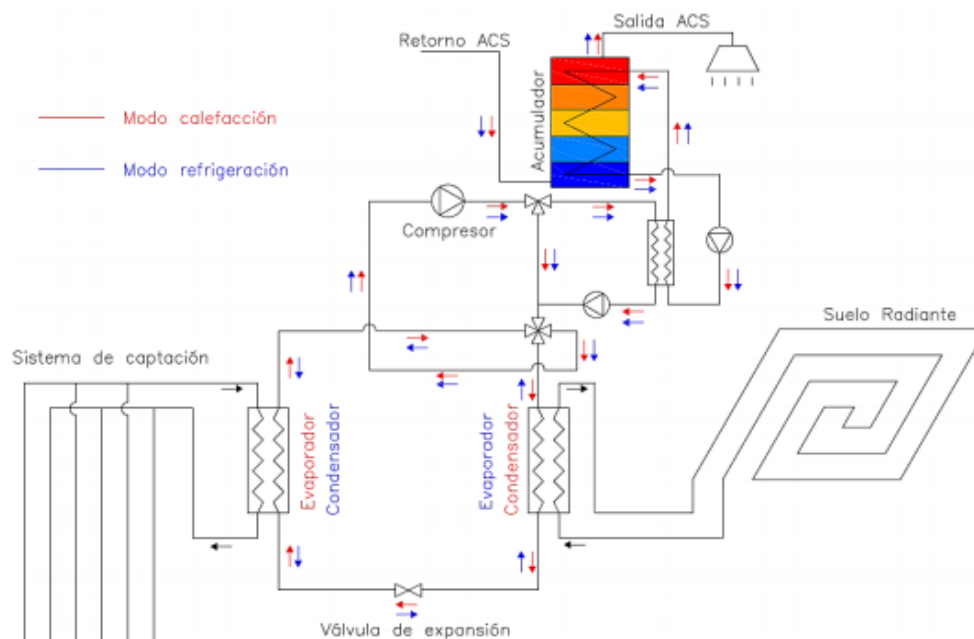


Ilustración 7. Esquema de la instalación geotérmica

(Fuente: www.eficiencia-v.com)

La principal diferencia y ventaja de las bombas de calor geotérmicas frente a las bombas de calor clásicas es que podemos conseguir mantener un rendimiento y potencia elevados, tanto en verano como en invierno, debido a que sus componentes no están expuestos a la intemperie y por lo tanto no sufren las bruscas variaciones de temperatura. [5]

Otra ventaja es que las instalaciones geotérmicas precisan de poco mantenimiento. Toda la parte enterrada no precisa ningún tipo de mantenimiento una vez correctamente instalada. La bomba de calor agua-agua requiere de menor mantenimiento que una bomba de calor aire-agua. A pesar de las ventajas de precisar poco mantenimiento por lo que se refiere a la parte geotérmica, el resto de la sala de máquinas y de la instalación requieren los mismos controles de mantenimiento establecidos

en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en edificios para cualquier instalación de climatización (RITE). [5]

El mayor inconveniente que tiene una instalación de este tipo es que si se extrae mucho calor del suelo, éste podría llegar a helarse, y viceversa, si cedemos demasiado calor al terreno, nos sería más complicado poder refrigerar el fluido caloportador, por lo que la instalación perdería eficiencia. [5]

Todo esto hay que tenerlo en cuenta para realizar una buena proyección del sistema para que funcione correctamente y sea eficiente.

2.5. Sistemas de intercambiadores

Como hemos comentado anteriormente, necesitamos que se produzca un intercambio de calor entre el terreno y el edificio a climatizar. Para ello se colocan en el propio terreno unas tuberías por las que circula el fluido caloportador que absorberá o cederá calor.

Estos tubos se fabrican en materiales con buena conductividad térmica, lo que favorece el intercambio de calor. También existen en diferentes diámetros para ser capaces de adaptarse al caudal de agua de la bomba de calor. [5]

Estos intercambiadores pueden recurrir tanto al terreno como al agua subterránea como fuente y sumidero de calor. A continuación, veremos los diferentes sistemas de intercambiadores existentes [5]:

- **Sistemas abiertos:** se utilizan pozos desde los que se bombea agua, ya sea directamente hacia el intercambiador agua-refrigerante de la bomba de calor o hacia un intercambiador intermedio (el más habitual), como se aprecia en la ilustración 8. Si la permeabilidad del terreno es suficientemente elevada puede recurrirse a explotar la capa freática mediante dos sondeos, uno de producción, con una bomba sumergida que conduce el agua a la bomba de calor para, una vez extraída su energía y enfriada, ser devuelta a la capa freática por un pozo de reinyección, o ser vertida a un cauce fluvial.

Para evitar el enfriamiento continuo del agua subterránea, los sondeos de toma y restitución de agua deben situarse respectivamente aguas arriba y aguas abajo del flujo subterráneo.

Los sistemas de captación de agua someros han sido los primeros sistemas empleados para alimentar las bombas de calor geotérmicas obteniéndose buenos resultados. Pero las nuevas leyes

medioambientales y la falta de agua suficiente han delimitado bastante su uso, sobretodo, en determinadas zonas. [5]

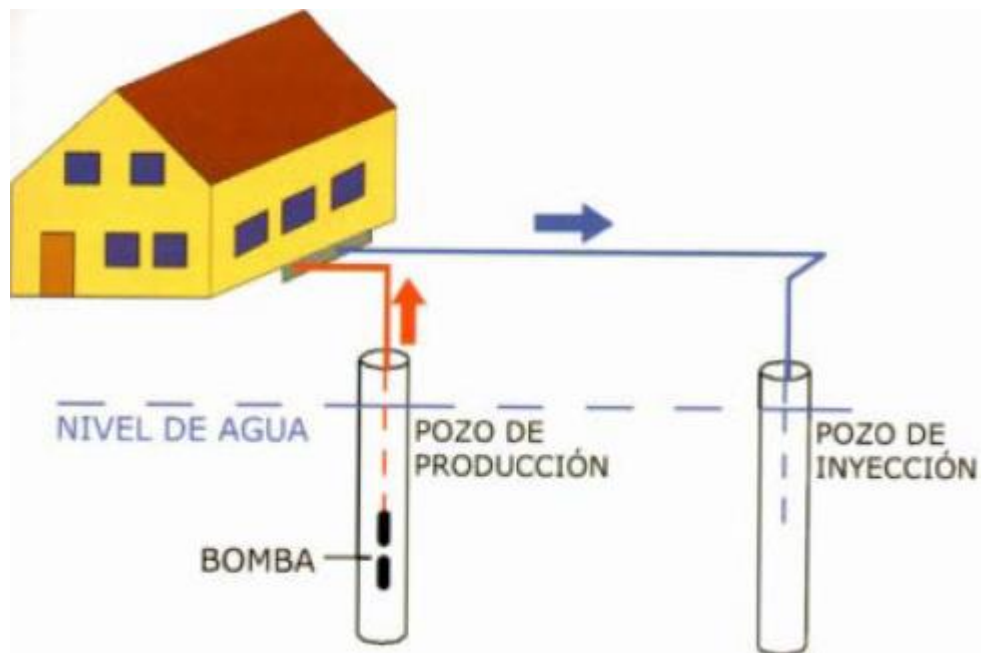


Ilustración 8. Esquema de aplicación de sondeos de captación de agua someros

(Fuente: IDAE)

Son los sistemas de amortización más rápida para grandes edificios, esto se debe a que el coste de la inyección y extracción de agua es menos elevado para grandes capacidades.

- **Sistemas cerrados:** en este caso los en los tubos que transportan el fluido caloportador se encuentran enterrados en el terreno, donde se produce el intercambio de calor con el subsuelo y lo conducen a la bomba de calor. [5]

En función de la posición de los intercambiadores subterráneos de calor podemos diferenciar varios grupos [5]:

- ***Intercambiadores horizontales:***

Son los sistemas cerrados más fáciles de instalar y los más económicos. Son aconsejables cuando se dispone de un terreno amplio.

Se realiza una pequeña excavación, entre 1,5 y 3 metros de profundidad, en el área que van a ocupar los tubos. Se tienden los tubos sobre un lecho de arena colocado previamente en la zanja y se vuelve a rellenar con el terreno natural, si el suelo es pedregoso o arcilloso se colocará una

capa de arena también en su parte superior, para evitar que se dañen los tubos. La colocación de los tubos puede ser en zanja o en espiral y su conexión se puede hacer en serie o en paralelo como se expone en la ilustración 9. [5]

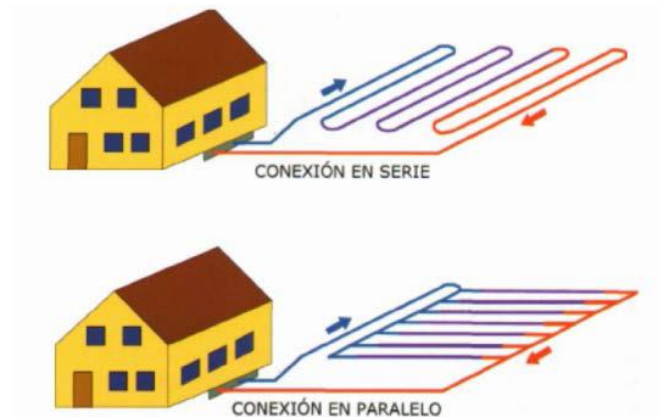


Ilustración 9. Intercambiadores subterráneos horizontales con conexión en serie y en paralelo

(Fuente: IDAE)

Para evitar que el suelo pueda llegar a helarse debido a una sobreextracción de calor, la distancia tanto en horizontal, como en vertical entre tubos suele ser de 0,4 m. La superficie total que abarcarán los sistemas dependerá de las necesidades de calefacción y refrigeración del edificio, de la profundidad a la que se coloque el bucle, de la naturaleza de suelo, cantidad de humedad que contenga, del clima, de la eficiencia de la bomba y de la configuración del bucle.

Los tubos que constituyen el intercambiador horizontal deben situarse a más de 2 m de distancia de árboles, a más de 1,5 m de conducciones enterradas no hidráulicas y a más de 3 m de cimentaciones, pozos, fosas sépticas y redes de desagüe. [4]

- ***Intercambiadores verticales:***

Consisten en dos tubos, generalmente de polietileno, unidos en sus extremos inferiores por una pieza en U del mismo material, o por cuatro tubos, unidos de dos en dos, por sendas piezas en U, constituyendo sondas geotérmicas simples o dobles, que se alojan en el interior de sondeos verticales, de alrededor de 150 mm de diámetro. También existen las sondas coaxiales.

Estas perforaciones se pueden realizar hasta una profundidad de entre 10 y 200 metros, siendo entre 50 y 100 metros lo más habitual. A esta profundidad las variaciones

diarias de la temperatura ambiente, y la influencia de la radiación solar es poco significativa comparada con la del calor geotérmico que poseen los materiales del subsuelo. En función de la demanda y la conductividad de estos materiales se necesitará un número de sondeos y un esquema determinado. [5]

Existen varios esquemas de distribución de intercambiadores verticales y se pueden ejecutar tanto cerca de la vivienda como debajo de ella. Éstos variarán en función de la energía térmica potencial entregada por metro de sonda, que depende fundamentalmente de la naturaleza de las rocas encontradas a lo largo del sondeo y de la presencia de agua subterránea. Estas conexiones se pueden realizar en el campo, o con un distribuidor múltiple en el edificio desde donde sale una conexión hacia cada una de las sondas verticales como se muestra en la ilustración 10. [5]

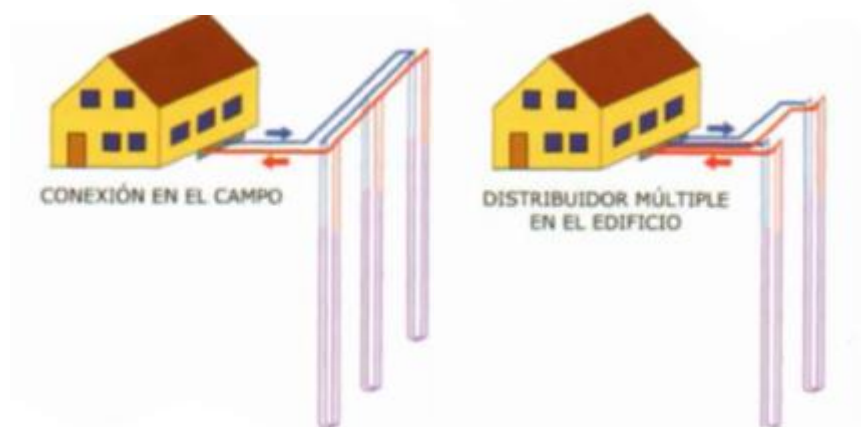


Ilustración 10. Sondas geotérmicas verticales, con conexiones en el campo o con distribuidor múltiple en el edificio

(Fuente: IDAE)

Los intercambiadores de calor verticales son más caros de instalar que los horizontales, pero necesitan menor longitud de tubería debido a los mejores rendimientos térmicos más elevados y mayores profundidades.

Las sondas geotérmicas deben de estar situadas a más de 0,7 m de tuberías de abastecimiento de agua y otras conducciones y preferiblemente a más de 2 m de los edificios. [5]

- ***Cimientos geotérmicos:***

Son un tipo de intercambiador vertical pero que además tienen otra función. Los cimientos geotérmicos consisten en pilotes, pantallas subterráneas, muros de contención y losas fabricados con hormigón armado que, además de su función estructural, se utilizan como intercambiadores de calor que se conectan en circuito cerrado con bombas de calor situadas en los edificios a los que sustentan o protegen. Consisten en un conjunto de tubos en forma de U se sujetan a la parte interior de las armaduras y posteriormente se rellenan con hormigón. [5]

3. REGULACIÓN LEGISLATIVA Y NORMATIVA

Las instalaciones térmicas en edificios están reguladas por condiciones de diverso rango normativo, que deben tenerse en cuenta a efectos de la corrección técnica del proyecto que se acometa. Estas disposiciones reglamentarias procuran la eficiencia del diseño, la seguridad, el cumplimiento de las normativas de sostenibilidad ambiental, etc.

3.1. Normativa básica

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.) y sus correspondientes I.T.E. (RD 1027/2007 de 20 de julio, BOE del 29 de agosto de 2007. Versión consolidada del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, (BOE 9-09-2013).
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Texto refundido con modificaciones conforme a la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. (Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002).
- Real Decreto 2060/2008, Reglamento de equipos a presión publicado el 5 de febrero de 2009.
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).
- Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de Julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Real Decreto 863/1995 Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y sus ITC correspondientes.
- VDI 4640 – Part2 (2001). Thermal use of the underground. Ground source heat pump systems.
- UNE 100715-1, Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera.
- UNE-EN 15450 (2008). Sistemas de calefacción en edificios. Diseño de los sistemas de calefacción con bomba de calor.
- Ordenanzas Municipales.

Y demás legislación vigente concordante o complementaria con la misma.
A esta legislación básica hay que sumar la específica según el caso:

- Los sistemas abiertos no poseen un marco regulador propio, pero están sometidos a la ley de aguas:

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

Requiere concesión administrativa del aprovechamiento por la extracción del agua. "Otros usos industriales". Climatización. Refrigeración. Así como autorización administrativa de vertido (renovable cada 5 años) para la inyección del agua en el acuífero.

- Los sistemas cerrados no poseen tampoco un marco regulador propio.

Si se considera dentro de la Ley de Minas, al tratarse de "escasa" importancia solo estaría sometido a la autorización del proyecto de perforación por parte de la autoridad minera en aplicación de las normas de seguridad minera.

3.2. Exigencia de eficiencia energética

La Directiva Europea de Eficiencia Energética en Edificación, 2009/28/CE y su traslado a la legislación española han hecho aparecer nuevos requerimientos en el sector de la edificación en lo relativos al consumo de energía, iluminación, aislamiento, calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, certificación energética de edificios o utilización de la energía solar.

Actualmente existen varios documentos legales puestos en marcha por la Administración para dar respuesta a estos nuevos requerimientos:

- ✓ Aprobación Código Técnico de Edificación
- ✓ Modificación Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)
- ✓ Actualización Normativa de Aislamiento Térmico NBE-CT-79
- ✓ Certificación Energética de edificios
- ✓ Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética en España
- ✓ Plan de Fomento de las Energías Renovables
- ✓ La Ley de ordenación de la edificación (LOE), ley 38/1999 de 5 de noviembre, Establece por medio del marco normativo de Código Técnico de la edificación (CTE) tres bloques de exigencias básicas referidas a la funcionalidad, la seguridad y la habitabilidad de las edificaciones.

Dentro del apartado de habitabilidad el Código Técnico de la Edificación se incluye el documento básico, el DB HE Energía, donde se establecen las exigencias en eficiencia energética y energías renovables que deberán cumplir los nuevos edificios y los que sufran rehabilitación. Dichas exigencias básicas son:

- ✓ Limitación de la demanda energética
- ✓ Rendimiento de las instalaciones térmicas
- ✓ Eficiencia Energética de las instalaciones de iluminación
- ✓ Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*
- ✓ Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica*

*(Estas dos últimas contribuciones quedan sustituidas por la aplicación de energía geotérmica.)

Para la correcta aplicación de esta exigencia de diseño y dimensionamiento de la instalación térmica, marcada por la IT 1.2 del R.I.T.E. (RD 1027/2007), se puede optar por el procedimiento simplificado de verificación, que consiste en la siguiente secuencia de verificaciones:

- ✓ Cumplimiento de la exigencia de eficiencia energética en la generación de calor y frío de la IT 1.2.4.1.
- ✓ Cumplimiento de la exigencia de eficiencia energética en las redes de tuberías y conductos de calor y frío de la IT 1.2.4.2.
- ✓ Cumplimiento de la exigencia de eficiencia energética de control de instalaciones térmicas de la IT 1.2.4.3.
- ✓ Cumplimiento de la exigencia de contabilización de consumos de la IT 1.2.4.4.
- ✓ Cumplimiento de la exigencia de recuperación de energía de la IT 1.2.4.5.
- ✓ Cumplimiento de la exigencia de aprovechamiento de energías renovables IT 1.2.4.6.
- ✓ Cumplimiento de la exigencia de limitación de utilización de energía convencional de la IT 1.2.4.7.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, R.I.T.E., que hace un especial hincapié en la reducción del consumo energético haciendo uso racional de las fuentes energéticas consideradas.

3.3. Aprovechamiento de energías renovables

Según IT 1.2.4.6 sobre Contribución solar para la producción de agua caliente sanitaria, en los edificios nuevos con previsión de demanda de agua caliente sanitaria una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá, mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar, adecuada a la radiación global de su emplazamiento y a la demanda total de agua caliente del edificio.

Según apartado 1.1 Ámbito de aplicación, del DB del CTE sobre Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, este es aplicable a los edificios de nueva construcción en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria, sin embargo, esta contribución solar mínima determinada podrá disminuirse justificadamente cuando se cubra ese aporte energético de agua caliente sanitaria mediante el aprovechamiento de energías renovables, por tanto, al proyectarse una instalación de geotermia, no es necesaria la realización de un sistema de captación de energía solar para la producción de ACS.

4. INSTALACIÓN EN LA ETSICCP DE SANTANDER

En nuestro caso vamos a estudiar la posible climatización de los edificios de la E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria a través de energía geotérmica de muy baja entalpía o temperatura. Como explicamos anteriormente, estos recursos geotérmicos son ideales para la climatización de viviendas, edificios, locales comerciales, etc.

Tenemos dos edificios, uno con una base rectangular de área 4.500m² aproximadamente que es donde se ubican los laboratorios y otro con una base de 3.700m² que sería el de aulas, ambos edificios están conectados por una pasarela. Debido a su ubicación, el único lugar disponible para realizar las respectivas instalaciones geotérmicas sería en el parking, en el caso del edificio de laboratorios, y en los jardines de la parte delantera del edificio de aulas, como detallaremos más adelante, sin afectar a las posibles instalaciones que haya bajo dichos espacios.

Como la escuela se sitúa sobre una zona geológica formada por margas y calizas, en presencia de alguna arcilla y sin presencia de acuíferos que sean de posible uso en la geotermia, el sistema que hemos elegido es un sistema cerrado vertical principalmente porque disponemos de un espacio reducido, queremos conseguir buenos rendimientos y su instalación es relativamente sencilla. Como ya habíamos explicado, dicho sistema consiste en una serie de tubos enterrados en el terreno dispuestos verticalmente que transportan un fluido caloportador que extrae el calor del subsuelo y lo conduce a la bomba de calor. Dispondremos un campo de sondas geotérmicas ya que es lo más indicado para edificios de grandes dimensiones.

La instalación consiste en realizar unas perforaciones verticales de tan solo 10-15 cm de diámetro en el terreno colindante a la edificación, en las cuales se introducen unos tubos. Los intercambiadores pueden ser tubos de simple U, de doble U, tubos coaxiales simples y tubos coaxiales complejos, llegan hasta el fondo del sondeo uniéndose en la parte superior a los colectores horizontales. Están fabricados con polietileno (PE), los empalmes se sellan fundiendo los tubos, lo cual produce conexiones libres de fugas. No obstante, estos intercambiadores se comprueban mediante una prueba de estanqueidad antes de su puesta en obra, se realiza a baja presión buscando detectar posibles fugas o daños en el material, para reemplazarlo por un producto en buen estado en dicho caso.

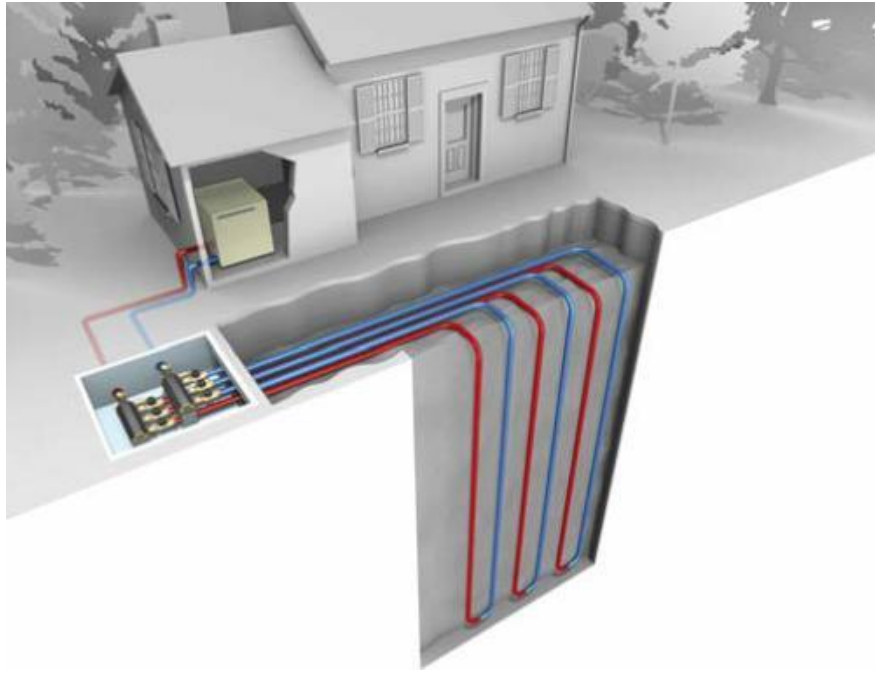


Ilustración 11. Instalación de geotermia vertical

(Fuente: energiarenovablegeotermica.blogspot.com)

Una vez terminado el sondeo e insertados los 2 o 4 ramales de la sonda hasta el fondo, unidos en la parte inferior por uno o dos en forma de U del mismo material que los tubos, el espacio vacío entre los tubos se rellena con un material cuya calidad dependerá de la conductividad térmica del terreno, λ . Dicho material deberá cumplir [5]:

- Ser lo suficientemente fluido como para permitir su inyección en el interior de la perforación.
- Tener una densidad superior a la de los lodos de perforación existentes en la perforación para que pueda extraerlos sin mezclarse y así rellenar la perforación.
- Ocupar todo el hueco existente entre las paredes de la perforación y las sondas sin ningún aporte externo de energía de compactación.
- Evitar la infiltración de aguas subterráneas entre capas.
- Hacer de medio transmisor del calor entre la sonda y el suelo.

La profundidad habitual para las sondas geotérmicas varía entre los 90 y los 150 metros, a estas profundidades y con la ejecución de varios sondeos, son suficientes para abastecer la demanda energética de un edificio. [5]

Para poder dimensionar un campo de sondas geotérmicas es necesario conocer previamente [4]:

- **Conductividad térmica del terreno.** La potencia de extracción es proporcional a la conductividad térmica. Algunas rocas, como las calizas macizas no fracturadas, los gneises y las arenas saturadas de agua, tienen una buena conductividad térmica. Las arenas secas y las arcillas conducen mucho peor el calor.
- **Humedad natural de suelo.** Mejora la conductividad térmica y garantiza un buen contacto entre sonda y suelo.
- **Presencia o ausencia de aguas subterráneas.** Cuando una sonda geotérmica penetra en una capa freática o en un acuífero, en los que el agua presenta una velocidad de flujo superior a varios centímetros por día, la cantidad de calor útil aumenta sensiblemente.
- **Tipo de prestaciones de la instalación.** Puede determinarse a partir de las temperaturas del exterior e interior del edificio, horas de funcionamiento, modalidad (calefacción-refrigeración-ACS), meses de funcionamiento, etc.

Las sondas geotérmicas deben de estar situadas a más de 0,7 m de tuberías de abastecimiento de agua y otras conducciones y preferiblemente a más de 2 m de los edificios. Y la distancia entre sondeos deberá ser, como mínimo, de 5 m para profundidades inferiores a 50 m y de, al menos, 6 m si los sondeos tienen entre 50 y 100 m de profundidad al tratarse de un campo de sondas. [4]

El sistema geotérmico deberá ir acompañado de una bomba de calor, que sea capaz de suplir la demanda actual de calefacción requerida por el edificio partiendo de la temperatura del subsuelo. [4]

4.1. Localización

Los edificios que configuran la Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria son los seleccionados para llevar a cabo nuestro estudio. Su ubicación está en el campus de Las Llamas, en la Avenida de Los Castros 44, 39005, Santander (CANTABRIA).

La escuela comenzó las clases de su primer curso en el año 1966 adscrita a la universidad de Valladolid, convirtiéndose en la segunda Escuela de Ingenieros de Caminos de España. A día de hoy consta de 1428 puestos (capacidad total máxima de alumnos) entre sus diferentes aulas de docencia y 136 puestos entre sus aulas de ordenadores, repartidas entre sus dos edificios, pertenece a la Universidad de Cantabria y es la 2ª mejor escuela a nivel nacional en este ámbito.

En primer lugar, tenemos un edificio de base rectangular de 4500m² en planta que data del año 1967. Éste es el que llamamos "edificio de laboratorios", consta de 6 plantas, dos de ellas de sótano. Es donde se localizan los laboratorios, la biblioteca, la mayoría de los departamentos y una nave. Tiene una superficie construida de 16.000m², aunque sólo 11.400m², están climatizados distribuidos de la siguiente manera:

PLANTA	SUPERFICIE (M2)
SÓTANO 2	3.180
SÓTANO 1	2.962
PLANTA BAJA	2.583
PLANTA PRIMERA	2.583
PLANTA SEGUNA	2.583
PLANTA TERCERA	2.045

Tabla 1. Superficie por plantas de Caminos-Laboratorios

En este caso la ubicación del sistema geotérmico iría en la parte delantera, con orientación sur, donde actualmente está situado el parking de unos 1.960m² aproximadamente, que se levantaría puntualmente para llevar a cabo la instalación y podría volver a colocarse de nuevo una vez finalizada.



Ilustración 12. Edificio de Caminos-Laboratorios y parking de E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

(Fuente: elaboración propia)

En segundo lugar, tenemos un edificio del año 1980 de planta irregular de unos 3.700m², Caminos-Aulas Su superficie construida son 9.380m² repartidos en 4 plantas, una de ellas de sótano. Es donde se localizan las aulas en las que se imparten las clases, las salas de informática, la dirección del centro y una vivienda. Distribuidas de la siguiente manera:

PLANTA	SUPERFICIE (M2)
SÓTANO 1	2.279
PLANTA BAJA	2.959
PLANTA PRIMERA	2.029
PLANTA SEGUNDA	2.113

Tabla 2. Superficie por planta en Caminos-Aulas

En este caso la ubicación del sistema geotérmico iría en los jardines de la parte delantera, con orientación sur-oeste, que tienen un total de 1.370m²

aproximadamente, y que igualmente se repondrán una vez finalizada la instalación.



Ilustración 13. Edificio principal y jardines de E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

(Fuente: elaboración propia)

La localización de la obra se encuentra marcada en los planos de situación incluidos al principio del apartado PLANOS, donde se puede ver tanto la situación de manera gráfica, a nivel regional, y local, como los planos en planta de cada uno de los edificios que conforman la escuela.

4.2. Climatología

Cantabria está situada en la zona norte peninsular, disfruta de lo que llamamos clima atlántico, templado y húmedo. Está definido por ser templado mesotermal, caracterizado por temperaturas suaves durante todo el año, con inviernos suaves y veranos frescos. En concreto, en Santander, la humedad del aire es muy elevada, ronda el 75% prácticamente durante todo el año, y podemos apreciar que es una zona lluviosa ya que las precipitaciones anuales están entre 1.100mm y 1.200mm que se reparten a lo largo de todo el año.

La temperatura media a lo largo del año es de 14,5°C, siendo la media máxima de 20,3°C y la media mínima de 9,7°C (Ilustración 14). El intervalo de temperatura es bastante constante a lo largo del año como consecuencia de la influencia marítima, si bien es algo mayor en los primeros meses del mismo.

Las menores precipitaciones se producen en el mes de julio, siendo el mes más lluvioso noviembre. La componente principal del viento es ONO alcanzando rachas máximas superiores a 160 km/h. Estos vientos son húmedos y suelen estar acompañado de precipitaciones más o menos intensas. Estos datos que se muestran en la tabla posterior, son recogidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en la estación situada en Santander Aeropuerto en el año 2017.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.7	13.6	5.8	106	72	12.3	0.4	0.8	0.8	2.1	2.9	85
Febrero	9.8	13.8	5.7	92	72	11.1	0.3	1.1	0.9	1.2	3.1	104
Marzo	11.3	15.7	7.0	88	71	9.9	0.1	0.9	1.2	0.4	2.9	135
Abril	12.4	16.6	8.3	102	72	11.9	0.0	1.3	0.7	0.0	2.4	149
Mayo	15.1	19.1	11.1	78	74	10.4	0.0	1.6	1.7	0.0	2.4	172
Junio	17.8	21.6	13.9	58	75	7.6	0.0	1.8	1.2	0.0	3.7	178
Julio	19.8	23.6	16.0	52	75	7.3	0.0	2.0	0.5	0.0	4.5	187
Agosto	20.3	24.2	16.4	73	76	7.6	0.0	1.4	0.8	0.0	3.8	180
Septiembre	18.6	22.8	14.4	83	76	8.9	0.0	1.5	1.9	0.0	4.6	160
Octubre	16.1	20.3	11.8	120	75	11.1	0.0	1.0	2.1	0.0	2.8	129
Noviembre	12.5	16.3	8.7	157	75	13.3	0.0	1.3	0.9	0.4	3.2	93
Diciembre	10.5	14.2	6.7	118	73	12.1	0.1	0.9	0.6	2.0	3.4	74
Año	14.5	18.5	10.5	1129	74	123.6	0.9	15.7	13.4	6.2	38.9	1649

Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Ilustración 14. Tabla de temperaturas, precipitaciones y humedad en el Aeropuerto de Santander

(Fuente: AEMET)

4.3. Marco geológico

4.3.1. Introducción

A continuación, vamos a hablar de la geología de la zona, puesto que en función de la tipología de los materiales a perforar y el nivel freático se conseguirá un mejor intercambio de calor con el terreno. Otro factor muy importante a tener en cuenta en el sondeo es la presencia de agua, ya que determina en gran medida la conductividad térmica del terreno.

La presencia de agua aumenta la conductividad térmica de las rocas y suelos, ya que el agua transmite mejor el calor que el aire confinado en los huecos de las mismas. Por ello, es necesario identificar la existencia o no existencia de agua en el terreno.

Es necesaria una buena determinación de la geología, pues en ella se basa la energía que podremos explotar en este estudio como veremos a continuación.

4.3.2. Geología

Santander se ubica, desde un punto de vista geológico, dentro de la Cuenca Vasco-Cantábrica. Como puede apreciarse en el mapa geológico de España en la Hoja 35 a escala 1:50.000 (ilustración 15).

En esta hoja afloran sedimentos del Triásico pertenecientes al Keuper, que siempre se presentan en forma diapírica, en su mitad occidental. A estos aparecen asociados ofitas y bloques de materiales del Jurásico. El Cretácico Inferior está ampliamente representado en facies continentales, Weald, y marinas, complejo Urgoniano y parte del complejo Supraurgoniano. El Cretácico Superior aflora extensamente en toda la región y, por lo que respecta al Cenomaniense, los términos superiores aparecen preferentemente en el cuadrante NO. de la Hoja representada en la ilustración 15, así como los sedimentos pertenecientes al Paleoceno y Eoceno. El Cuaternario ocupa pequeñas extensiones a modo de recubrimiento.

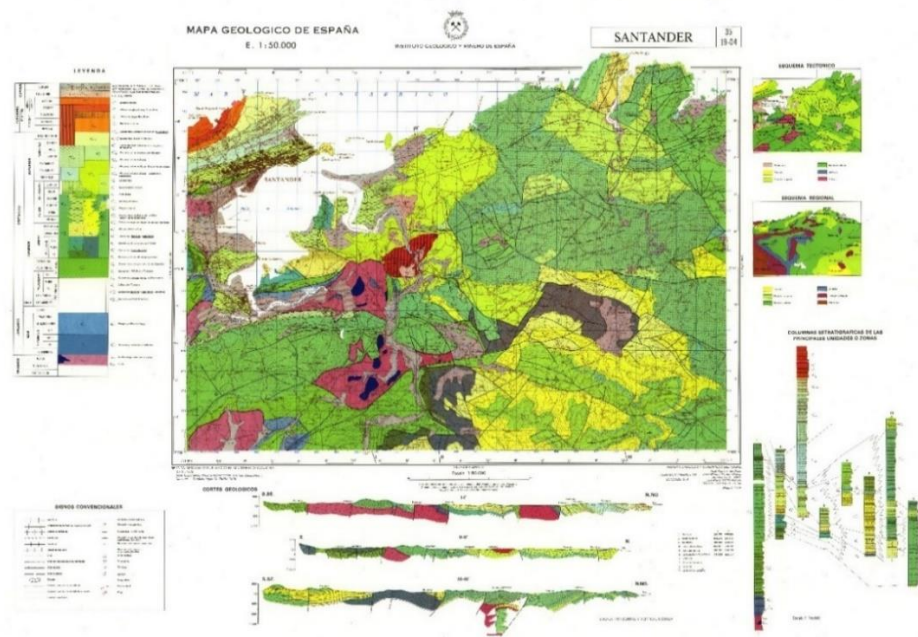


Ilustración 15. Mapa geológico de España, HOJA 35 (Escala 1:50.000)

(Fuente: IGME)

De forma local, el término municipal de Santander se encuentra en el flanco sur del sinclinal de San Román. Esta estructura forma parte de una mayor, denominada sinclinal de Santillana-San Román, de dirección prácticamente E-W y en la que afloran materiales que van desde el Cretácico Inferior hasta el Cuisiense (Terciario), formando estrechas franjas litológicas que siguen la misma dirección que el Sinclinal (E-W). Al sur de ese sinclinal se encuentra un cabalgamiento que pone en contacto materiales del Triásico con materiales del Cretácico Inferior, podemos apreciarlo en la ilustración 16.

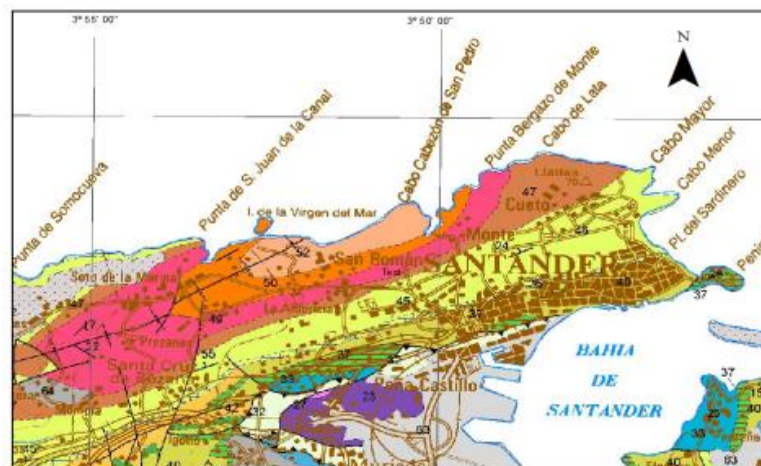


Ilustración 16. Sinclinal de Santillana- San Román

(Fuente: Modificado de Robador et al., 1989)

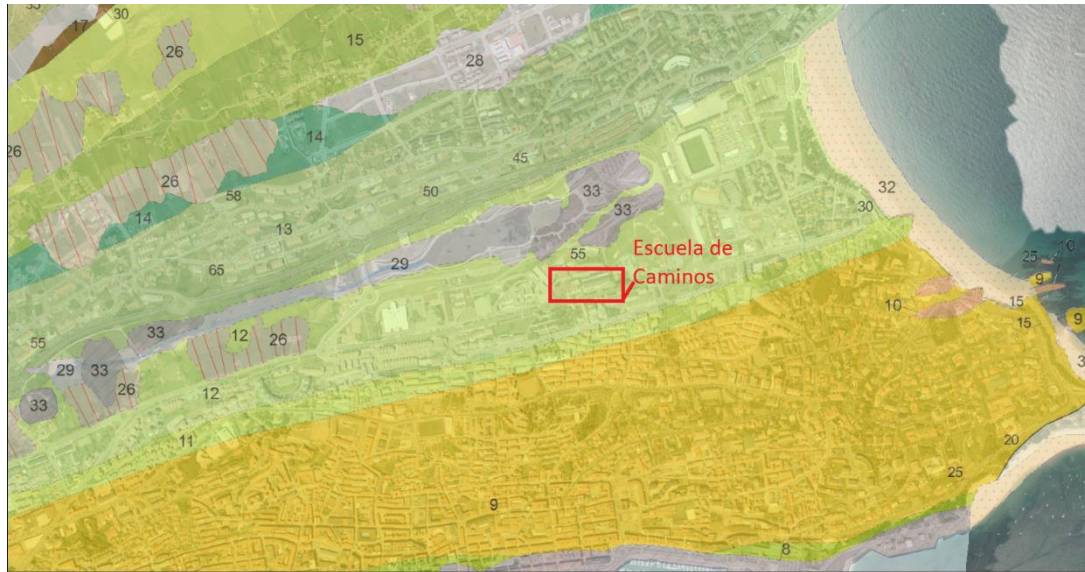


Ilustración 17. Situación geológica de la Escuela de Caminos (Escala 1:10.000)

(Fuente: IGME)

Si analizamos el área donde vamos a realizar los sondeos geotérmicos en la hoja 1:10.000 de Santander (ilustración 17), detectamos que está cerca del contacto entre las dos capas margas y calizas margosas. Las capas margosas son representativas de la zona del Sardinero, mientras que las calizas margosas son representativas de la zona de Altamira.

Están representadas con verde claro la representativa del Sardinero (12) y con un verde más lima la capa representativa de Altamira (11). A mayor profundidad nos encontraremos en color amarillo una formación de areniscas de la formación Bielsa (9).

Para apreciar este contacto y las capas que se van a ver afectadas, hemos realizado el siguiente perfil del terreno (ilustración 18) sobre el mapa geológico de la zona para ver las profundidades de las capas, describir cuáles estarían afectadas en los rangos de profundidad de la geotermia de baja entalpía y así poder analizar su composición y características para el diseño y posterior cálculo de nuestra instalación.

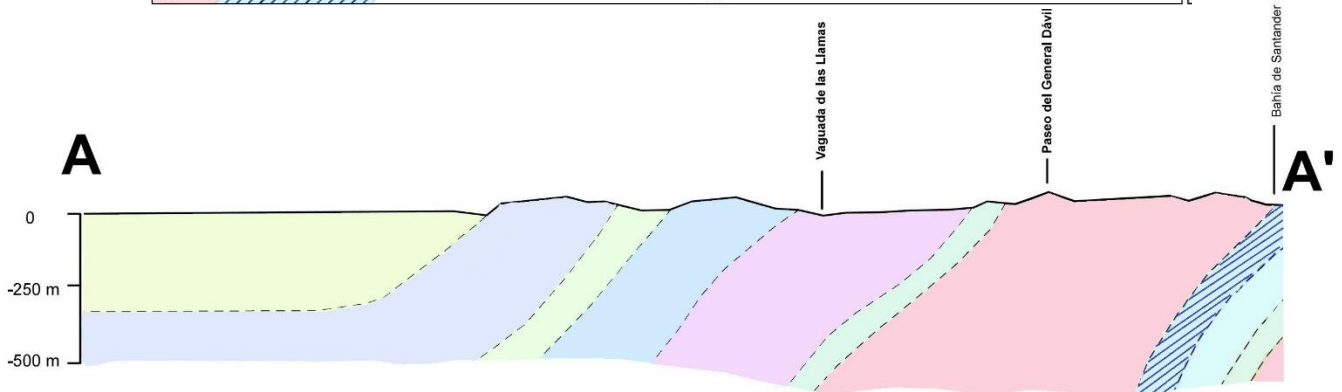
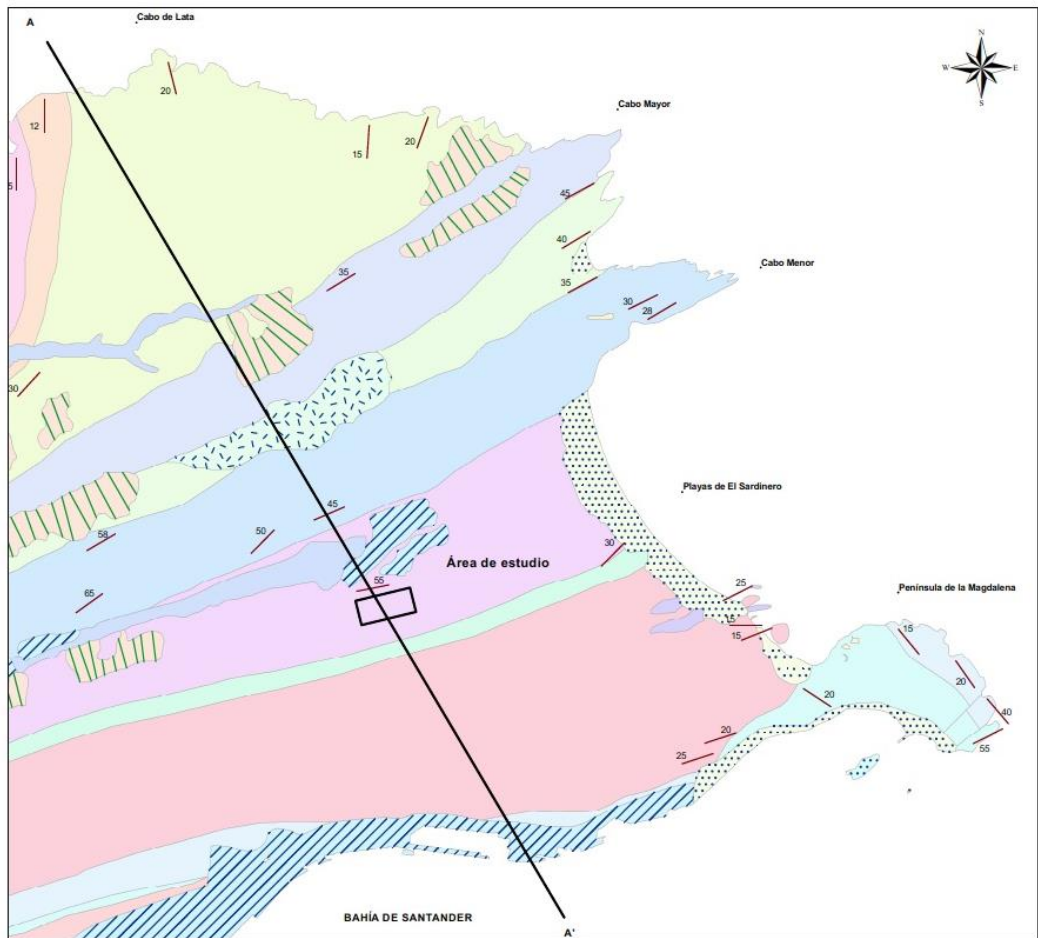


Ilustración 18. Perfil del terreno en el área de estudio (Escala 1:20.000)
(Fuente: Elaboración propia)

Normalmente un sondeo geotérmico no sobrepasará una profundidad de aproximadamente 400m para mantenernos dentro del campo de baja entalpía de la geotermia. En este caso y, debido a la posición concreta del área de perforación de nuestro edificio, nuestra instalación podría verse afectada por tres formaciones Cretácicas. Dos de ellas, de naturaleza carbonatada y la otra detrítica, aunque, desde el punto de vista geotécnico, todas ellas con unas características estructurales muy similares. En concreto, y de muro a techo, serían:

- **Fm. Bielva (Albiense Superior-Cenomaniense Inferior)**

Está compuesta por areniscas amarillentas y blancas bituminosas, de facies fluviales y, en la parte superior, por margas arcillosas con intercalaciones de calcarenitas o areniscas calcáreas y nódulos de pirita, típicas de ambientes inter a submareales de estuario. También alguna capa de caliza y bancos calcareníticos. Todo ello presenta abundante fauna y en determinadas zonas pequeñas cantidades de micas. Suele presentar abundante restos vegetales y cantos blandos. Las bandas más areniscosas pueden presentar estratificación en surco y de tipo flasher. Su potencia es de unos 150 m.

- **Fm. Altamira (Cenomaniense Medio-Superior)**

Está compuesta por calizas bioclásticas, bien estratificadas en bancos de 20 a 80 cm, que presentan intercalaciones de margas hojosas bioclásticas y, puntualmente, algo arenosas de color gris e indicios de karstificación, esto hace que su techo sea irregular, al igual que su potencia. Son similares a las de la Formación El Sardinero, si bien éstas han sido datadas como Cenomaniense Medio-Superior.

Su potencia es variable, aproximada de unos 50-70 m, con un máximo de 150 m., y se interpretan como depósitos de plataforma somera dominada por mareas.

- **Fm. Margas y calizas del Sardinero (Santoniense-Campaniense Medio)**

Constituida por una alternancia monótona de margas hojosas y calizas arcillas que en la parte inferior contienen abundante glauconita y fauna pelágica y que, puntualmente, puede estar parcialmente dolomitizada.

Su potencia aumenta, de Oeste a Este de 500 a 900 m. y el medio de depósito es de plataforma externa.

Según la disposición de las citadas formaciones, con respecto a la situación de la parcela donde se ubicarán los sondeos, es esta última formación (Fm. Margas y calizas del Sardinero) la que tendría una mayor, por no decir total, representación.

Las otras dos formaciones (de Norte a Sur, Fm. Altamira y Fm. Bielva), se llegan a detectar únicamente a partir de profundidades relativamente importantes, concretamente:

Es por este motivo por el que, la gran mayoría de los sondeos se llevarán a cabo sobre materiales de la Fm. Margas y calizas del Sardinero y únicamente en una profundidad concreta, se llegarán a detectar las calizas de la Fm. Altamira.

Esta circunstancia, desde el punto de vista geotécnico no tiene ninguna relevancia puesto que se trata de dos formaciones con similares características, tanto litológicas como estructurales.

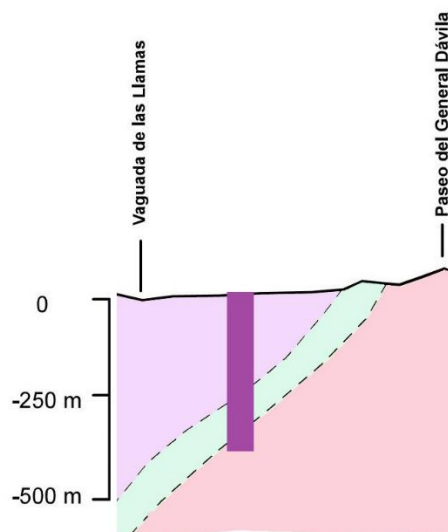


Ilustración 19. Perfil estratigráfico de la profundidad de las sondas en baja entalpía

(Fuente: elaboración propia)

A través de la información geológica recopilada hemos elaborado el perfil estratigráfico anterior (ilustración 19) que sólo puede considerarse como una interpretación razonada de los datos disponibles.

4.3.3. Hidrogeología

La presencia de agua subterránea tiene es muy importante en las instalaciones de geotermia, aunque estemos hablando de un circuito cerrado, con la presencia de agua la conductividad térmica efectiva de los materiales del terreno mejora.

En lo que respecta a la presencia de agua, se conoce que antiguamente al oeste del edificio de caminos aulas hay un pequeño arroyo en época de lluvias que baja hacia Las Llamas, debido a esto sabemos de los problemas de humedades que padece el CDTUC situado justo detrás de nuestro edificio.

Por tanto, es probable que el nivel freático del agua alcance la cota de proyecto, 29,5m sobre el nivel del mar, teniendo por tanto presencia de agua en toda la longitud del sondeo.

4.4. Bases de diseño

4.4.1. Introducción

Una vez conocidas y asimiladas las características del emplazamiento de nuestro proyecto explicadas en el apartado anterior, vamos a proceder con el diseño de la instalación de una bomba de calor geotérmica para climatizar los edificios de la escuela de caminos.

Realizaremos, a continuación, la descripción de la instalación de calefacción actual de la escuela, analizando las cargas térmicas de cada edificio, cómo y cuándo se satisface esa demanda, estimando así el gasto energético en climatización.

Conocido este dato, procedemos a buscar una bomba de calor geotérmica que satisfaga estas necesidades de calefacción, buscando la mejor configuración y dimensionamiento del sistema de captación geotérmico necesario para alimentar a la bomba.

4.4.2. Demanda energética

Necesitamos conocer las necesidades energéticas mensuales de cada edificio en calefacción para proponer nuestra alternativa correctamente. La demanda energética del edificio es variable a lo largo del año, sobre todo en función la temperatura exterior y la ocupación del edificio, aunque es estimable de manera fiable con los datos que se han ido recogiendo de la escuela a lo largo de los años.

Estimaremos nuestro sistema de tal manera que los meses de invierno el sistema funcione en modo calefacción. No calcularemos el consumo de ACS, ya que no existe en la instalación actual y así trabajaremos con datos 100% reales. Aunque si trataremos de hacer una pequeña estimación con la refrigeración a modo de ejemplo.

La escuela cuenta con dos instalaciones de calefacción totalmente diferenciadas, una en cada edificio.

En Caminos-Laboratorios tenemos dos calderas convencionales de gas: una marca ROCA modelo TR-3 de 488,4 kW de potencia y otra marca ROCA modelo NTD-200 de 232,6kW de potencia, con un rendimiento real del 84%.

El edificio de Caminos-Laboratorios está dividido en 2 zonas, estas a su vez divididas en dos subzonas, la temperatura de impulsión de cada zona

es gestionada por una válvula mezcladora de 3 vías montada a tal efecto. El sistema consta de una sonda de control situada en la parte superior de cada uno de los circuitos. Dentro de este edificio también contamos con una nave que no tiene ningún tipo de climatización.

El edificio tiene una demanda anual de 32.648m³ de gas, si lo pasamos a kWh, son 390.847 kWh de energía al año que vamos a desglosar por meses en la siguiente tabla, en este caso del año 2017:

MES	M3 DE GAS	FACT. CONVERSIÓN M3 A KWH	KWH
ENERO	9.465	11,913	112.757
FEBRERO	5.295	11,841	62.698
MARZO	4.033	11,756	47.412
ABRIL	2.100	11,809	24.799
MAYO	381	11,866	4.521
JUNIO	13	11,940	155
JULIO	21	11,844	249
AGOSTO	31	11,915	369
SEPTIEMBRE	33	11,846	391
OCTUBRE	148	11,686	1.730
NOVIEMBRE	5.149	11,834	60.933
DICIEMBRE	5.979	12,516	74.833
TOTAL	32.648		390.847

Tabla 3. Consumos de gas 2017 en Caminos-Laboratorios

En Caminos-Aulas tenemos dos calderas convencionales de gas: una marca ROCA modelo TR-3 de 488,4 kW y otra marca ROCA modelo NTD-200 de 232,6kW de potencia, con un rendimiento real del 85%.

El edificio de Caminos-Aulas también está dividido en 2 zonas, estas a su vez divididas en dos subzonas, la temperatura de impulsión de cada zona es gestionada por una válvula mezcladora de 3 vías montada a tal efecto. El sistema consta de una sonda de control situada en la parte superior de cada uno de los circuitos. Dentro de este edificio también contamos con un sistema de climatización diferente para el aula magna y otro para las aulas 1 y 2 que son las de mayor volumen.

En el aula magna contamos con una bomba de calor aire- aire marca DAIKIN modelo RXYQ24P7 con una potencia de calor de 75kW y una potencia de frío de 67kW.

Para las aulas 1 y 2 tenemos un free-cooling marca NOVOVENT, modelo RECU-NOVO BF7 190 con un caudal de aire de 1.500m³/h.

En el diseño de nuestra instalación, dejaríamos estos espacios (aula magna, 1 y 2) con sus respectivos sistemas de climatización actual ya que son relativamente nuevos y desconocemos sus consumos.

Con los datos de los consumos de gas de Caminos-Aulas del año 2017, vemos que el edificio tiene una demanda anual de 32.782m³ de gas, si lo pasamos a kWh, son 391.857 kWh de energía al año que vamos a desglosar por meses en la siguiente tabla:

MES	M3 DE GAS	FACT. CONVERSIÓN M3 A KWH	KWH
ENERO	8.878	11,913	105.764
FEBRERO	5.928	11,841	70.193
MARZO	4.739	11,756	55.712
ABRIL	2.404	11,809	28.389
MAYO	643	11,866	7.630
JUNIO	20	11,940	239
JULIO	19	11,844	225
AGOSTO	22	11,915	262
SEPTIEMBRE	29	11,846	344
OCTUBRE	43	11,686	502
NOVIEMBRE	4.804	11,834	56.851
DICIEMBRE	5.253	12,516	65.747
TOTAL	32.782		391.857

Tabla 4. Consumos de gas 2017 en Caminos-Aulas

Con toda esta información, ya es posible elegir las bombas de calor necesarias para la instalación.

4.4.3. Elección y justificación de la bomba de calor

La bomba de calor elegida es una bomba de calor reversible DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V que funciona automáticamente en modo refrigeración o calefacción, con una potencia calorífica de 366 kW y una potencia frigorífica de 328 kW. Serán necesarias dos unidades para cumplir con las potencias de calefacción demandada en cada uno de los edificios, ya que como hemos visto anteriormente sus demandas son prácticamente iguales.

La suma de ambas bombas de calor nos da una potencia calorífica de 732 kW y una potencia frigorífica de 656 kW.

El número de horas de uso en régimen de refrigeración no lo podemos calcular ya que no tenemos el consumo actual de refrigeración porque no existe en la instalación actual, pero dado a que en Santander las temperaturas no son muy elevadas con una potencia de refrigeración de 656 KW por edificio y comparándolo con los datos de calefacción podemos asegurar que es más que suficiente para satisfacer la futura demanda.



Ilustración 20. DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V

(Fuente: Dynaciat)

Las especificaciones técnicas de dichas bombas de calor están incluidas en el ANEXO 2: MATERIALES Y MAQUINARIA.

4.4.4. Capacidad calorífica del suelo

En rocas y suelos secos la propagación del calor se realiza por conducción. Las propiedades físicas más importantes de suelos, rocas y materiales de la sonda son la conductividad térmica y la capacidad térmica volumétrica. En el fluido caloportador del interior de la sonda, el calor se propaga por convección. Cuando la sonda atraviesa un medio saturado de agua, e también se produce la transferencia de calor por convección natural y forzada. Las propiedades físicas más importantes para la transmisión de calor por convección es la permeabilidad del terreno son [4]:

- La **Conductividad térmica** es el flujo de calor transmitido por conducción a través de un cuerpo sometido a un gradiente de temperatura de 1 K/m (1 grado Kelvin por metro). Se expresa en $W/m \cdot K$, o en $W/m^{\circ}C$.
- La **Capacidad térmica volumétrica** es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 m³ de terreno en 1 K. Se expresa en J/m³K.
- La **Permeabilidad** es la capacidad de un suelo o roca para ser atravesado por el agua. Se expresa en m/s. Permite determinar la velocidad de flujo del agua subterránea.

Con esta información, suponiendo el nivel freático en toda la ejecución del sondeo y con los datos geológicos de la zona, se determinará el factor de conductividad térmica y la capacidad térmica volumétrica de nuestro terreno.

Las rocas que componen la geología de área de nuestro proyecto son principalmente margas y calizas, aunque también podemos encontrar areniscas en las zonas más profundas.

Las margas tienen un valor típico para la conductividad térmica de 2,1 W/mK y una capacidad térmica volumétrica de 2,2 MJ/m³K, las calizas tienen un valor típico para la conductividad térmica de 2,8 W/mK y con una capacidad térmica volumétrica de 2,2 MJ/m³K. Estos datos los hemos obtenido de la tabla 6 que se muestra a continuación. Dicha tabla ha sido sacada de la norma alemana (VDI 4640) y ha sido adoptada por el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC). Engloba el calor almacenado en rocas y suelos, diferenciando entre la conductividad térmica y la capacidad térmica volumétrica, sin tener en cuenta la presencia de agua. [4]

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica
	Mín.	Valor típico	Máx.	(MJ/m³K)
Rocas magmáticas				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Grabo	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
Rocas metamórficas				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Micasquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
Rocas sedimentarias				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Sal	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4
Rocas no consolidadas				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8

Tabla 5. Conductividad térmica y capacidad térmica volumétrica de las rocas
(Fuente: IDAE[4])

Podemos conocer la cantidad de calor que es posible extraer del terreno haciendo una media entre los valores de las margas y las calizas, puesto que su espesor es muy similar. Por lo que deducimos que nuestro sondeo tendrá una conductividad térmica efectiva de 2,4 W/mK y una capacidad térmica media de 2,2 MJ/m³K.

Los datos que acabamos de hallar son meramente orientativos ya que no hemos tenido en cuenta el efecto de la presencia de agua subterránea en las propiedades térmicas del terreno. Para obtener la capacidad real de las sondas geotérmicas verticales realizaremos unos Tests de Respuesta Térmica (TRT) en uno o varios sondeos piloto. A partir de las medidas de temperatura realizadas en el interior del tubo de una sonda geotérmica, se puede obtener también una imagen exacta de las temperaturas encontradas a lo largo del mismo. Mientras tanto tomaremos para nuestros como valor medio de la temperatura del terreno de 14°C o 287K.

4.4.5. Materiales empleados en la instalación

A continuación, vamos a definir otra de las bases del diseño para el posterior dimensionamiento de la instalación. En este caso se trata de la disposición de los campos de sondas y de los materiales que hemos elegido para el cálculo.

Comenzamos con los campos de sondas, como comentamos anteriormente, la ubicación de los campos de sondas va a ser en la parte delantera de ambos edificios. En los jardines en el caso de Caminos-Aulas con una superficie máxima de actuación de 19m x 72m, unos 1.370m² (Ilustración 13). Y en el caso de Caminos-Laboratorios sería en el parking con una superficie máxima de actuación de 14m x 140m, unos 1.960m² (Ilustración 12). La situación de los campos de sondas y la potencia requerida para hacer la demanda nos lleva a elegir un intercambiador formado por un conjunto de sondas verticales conectadas por un tramo horizontal al colector situado en la sala de calderas.

Una vez determinado el tipo de configuración a emplear se elegirá un modelo de tubería y de fluido caloportador que sean óptimos para nuestra instalación eligiendo entre diferentes materiales y distintos diámetros.

Para la elección del diámetro hay que tener en cuenta dos factores:

- Debe de ser lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña para así necesitar menor potencia en el bombeo.
- Debe de ser lo suficientemente pequeño para asegurar una alta velocidad y que el fluido trabaje en régimen turbulento en la zona del sondeo, maximizando así la transmisión de energía con el terreno. La ecuación de Reynolds asegura el régimen turbulento, en nuestro caso tomaremos $Re=4.000$ como veremos en el ANEXO 1: CÁLCULOS.

Siguiendo este criterio, las sondas seleccionadas son de polietileno (PE) con un diámetro exterior de 32 mm, un diámetro interior de 29 mm, una rugosidad de 0,007mm y una conductividad térmica de 0,4W/mK. El material de polietileno cumple los requisitos siguientes por su aplicación como sondas geotérmicas:

- Elevada tenacidad y capacidad de alargamiento de ruptura.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Buena resistencia a las sustancias químicas.
- Buenas propiedades mecánicas y excelente viscosidad incluso hasta a baja temperatura.
- Larga vida con una garantía como mínimo de 10 años del producto.
- Baja resistencia hidráulica.
- Ventajosa relación precio/prestación.

El fluido caloportador que circula por el interior de las sondas está compuesto por una mezcla de agua y anticongelante. Su porcentaje en la disolución dependerá de la temperatura de seguridad de congelación del fluido. Empleando un anticongelante tipo Geoflux PG o similar, específico para el uso en geotermia, y para una temperatura de congelación de -15°C , el fluido caloportador es un concentrado que requiere la adición de AGUA DESTILADA para ajustar sus temperaturas de trabajo. No obstante, se recomienda utilizar concentraciones de Geoflux PG del 30% para garantizar las propiedades del producto. Esto proporciona una conductividad térmica a la mezcla de $0,455 \text{ W/mK}$.

El fluido debe circular cumpliendo con el régimen turbulento que cuando se produce una transferencia de calor del fluido al terreno o viceversa más eficiente. A tal efecto para el dimensionamiento del sistema de intercambiadores se ha escogido tomar como valor seguro $0,925 \text{ l/s}$.

En el ANEXO 1: CÁLCULOS está la justificación de este caudal.

El material de relleno que vamos a utilizar en las perforaciones depende del tipo de suelo y la conductividad térmica de este, y por tanto para no interferir en los cálculos deberá tener una conductividad térmica similar a la del suelo. Además de poseer estas propiedades:

- Una baja permeabilidad
- Buena adhesión a la sonda y al terreno
- Inocuo con las aguas subterráneas
- Elevada resistencia a las heladas.

El tipo de mortero elegido en este caso es le ENERGROUT HD 2.1, siendo el valor de la conductividad de este mortero es de $2,1 \text{ W/mK}$.

Las tuberías que conectan el colector y el distribuidor con los sondeos, formando el tramo horizontal serán de polietileno de alta densidad PE100, con diámetro nominal de 40 mm, un espesor de 3,7 mm (SDR 11), presión nominal (PN) de 16 bar y rugosidad de 0,04 mm.

Finalmente, las tuberías que unen las bombas de calor con el colector y el distribuidor serán de polietileno de alta densidad PE100, con diámetro nominal de 63 mm, un espesor de 5,8 mm (SDR 11), presión nominal (PN) de 16 bar y rugosidad de 0,04 mm.

En el ANEXO 2: MATERIALES Y MAQUINARIA están las fichas técnicas de los productos descritos en este capítulo.

4.5. Dimensionamiento del campo de sondas

4.5.1. Introducción

Todos los datos recopilados en el apartado de bases de diseño vamos a introducirlos en un software de simulación geotérmica, que va a reproducir el comportamiento térmico del subsuelo a lo largo de los años para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación con el fin de justificar la elección del número de sondeos requeridos.

EED – Earth Energy Designer, es un software, desarrollado por la Universidad de Lund (Suecia) y comercializado por la empresa BLOCON, una compañía especializada en física de edificios, transferencia de calor y desarrollo de software. Es de fácil aplicación y permite predecir el comportamiento de una instalación a lo largo de su vida útil teniendo en cuenta el comportamiento del terreno, así como los elementos necesarios, descritos anteriormente, para su instalación: tubería, fluido y material de relleno. Además, este software permite obtener parámetros determinantes como la longitud del intercambiador o las resistencias térmicas (fluido-tuberías-terreno) existentes en el conjunto de la perforación. Actualmente es uno de los programas más utilizados por las empresas dedicadas a la climatización geotérmica de edificios en España.

Otro objeto de este software es el cálculo de la temperatura del fluido a lo largo de la vida útil de la instalación, dando una idea de la saturación del terreno. Obtiene parámetros tan importantes como las cargas base y pico de calor extraído.

En nuestro estudio vamos a dimensionar a 25 años de vida útil las distintas alternativas en ambos edificios, algo que dejaremos reflejado en los cálculos del software. Y vamos a realizar 3 tipos de simulaciones por cada edificio en el siguiente orden con el objeto de comparar los resultados y elegir la mejor alternativa:

- Sonda vertical tipo U doble
- Sonda vertical tipo U simple
- Sonda vertical tipo U doble, pero sin picos de demanda (puntos de máxima demanda, estos valores corresponden a las condiciones más extremas a las que estará sometida la instalación y vendrán marcados por la máxima potencia que sea capaz de suministrar la bomba de calor que instalemos, que al tratarse de una instalación de calefacción será durante los meses más fríos)

4.5.2. Simulaciones en Caminos-Laboratorios

Para las simulaciones iremos adjuntando pantallazos del software para mostrar cómo lo hemos hecho, paso a paso, después simplemente mostraremos los valores que resultan, los principales datos que van a variar serán la profundidad, el número y la disposición de los sondeos. Y finalmente escogeremos una opción para cada edificio.

4.5.2.1. Simulación 1

Tal y como puede verse en la ilustración 21, y de acuerdo a la geología del terreno previamente analizada, la conductividad del terreno toma un valor de $2,4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, la capacidad térmica volumétrica uno de $2,2 \text{ MJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ y la temperatura del terreno es 14° .

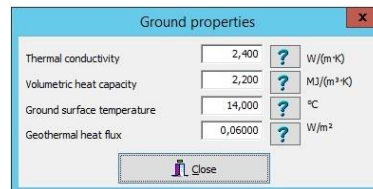


Ilustración 21. Propiedades térmicas del suelo S1 EED

(Fuente: Elaboración propia)

El siguiente punto es definir las características del intercambiador de calor (ilustración 22). En este caso hemos seleccionado una sonda tipo doble U, con un diámetro de perforación de $139,7 \text{ mm}$, el caudal por sondeo es de $0,925 \text{ l/s}$ y en el que la separación de los tubos es de 80 mm .

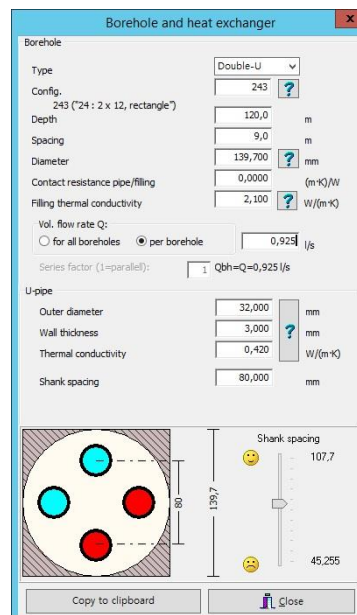


Ilustración 22. Características del intercambiador de calor S1 EED

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, metemos los datos de las demandas energéticas mensuales de calefacción del edificio como vemos en la ilustración 23. Estos datos fueron expuestos previamente en la Tabla 3, aunque en el software se corresponden con el valor de MWh de energía que es consumida cada mes:

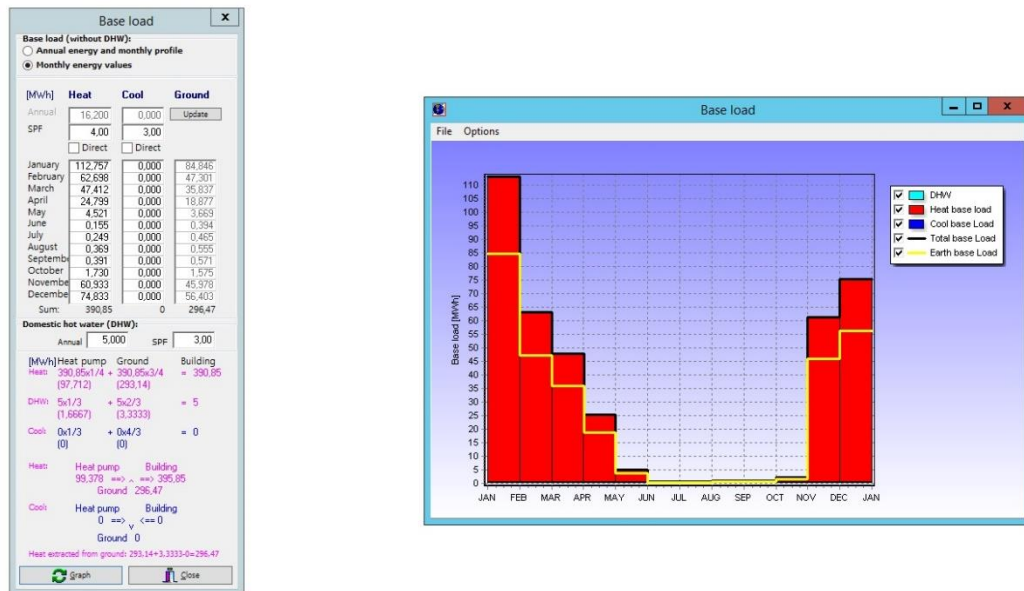


Ilustración 23. Demandas energéticas mensuales S1 EED
(Fuente: Elaboración propia)

Ahora vamos a definir los picos como se muestra en la ilustración 24, esto significa señalar los meses en los que se puede llegar a necesitar que la bomba trabaje a su máxima potencia, que en nuestros datos de calefacción sería en los meses de enero y febrero ya que son los más fríos.

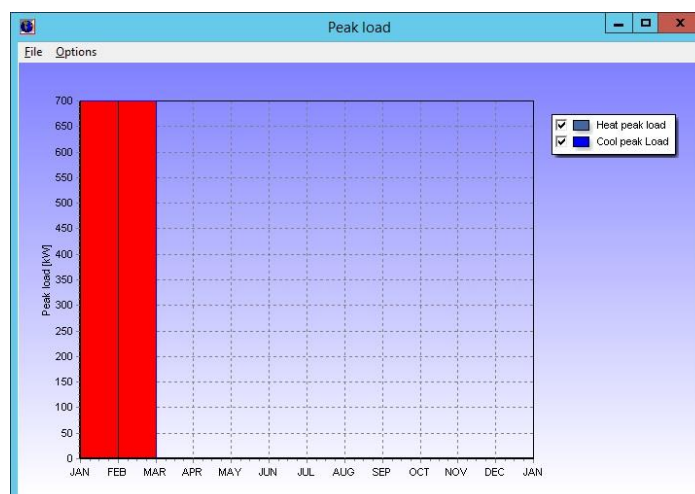


Ilustración 24. Gráfica de los picos mensuales S1 EED
(Fuente: Elaboración propia)

EED3 permite calcular los metros de intercambio necesarios para que la instalación, además de satisfacer la demanda energética, cumpla con

unos límites de temperatura preestablecidos para el fluido caloportador. Estos límites se fijan en este submenú que aparece en la ilustración 25 y estarán marcados generalmente por el riesgo de congelación en el evaporador de la bomba de calor. Son los límites que no deben sobrepasarse, una temperatura del fluido media mínima de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura media máxima de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ilustración 25. Rango restrictivo de las temperaturas del fluido caloportador S1 EED
(Fuente: Elaboración propia)

Con estos datos el programa procede a realizar la simulación, cuyo objetivo principal es la estimación del número de sondeos y su profundidad. El programa hace varias estimaciones jugando con la profundidad, el número de sondeos y su distribución en el campo de sondas como veremos en la siguiente ilustración 26. De estas estimaciones procederemos a elegir una por simulación, que será la más eficiente según nuestras necesidades.

File

Config0797Optimize

Max land area14x140m²

Borehole spacing5x10m

Borehole depth100x140m

Max no boreholes200

254/254 "2 x 23, rectangle"

6m

944 cases tried

Solutions found: 59

Analysis started 17:12:26, stopped 17:12:57 time: 31s

☒ Automatic grid step

☒ Round off values

☐ Also list cases with warnings

Step: 2m

Sort:
☒ Total length
☐ Cost

Best configs: 248 184 249 250 185 186 251 252 253 254

Double click on row for details

Config	No bh	Type	Spacing [m]	Depth [m]	Total length [m]	Land area [m²]	Length [m]	Width [m]	Comments	Cost [EUR]
248	34	2 x 17 rectangle	9	133	4506	1296	144	9	Chosen fo...	0
248	34	2 x 17 rectangle	9	133	4506	1296	144	9	Detailed ...	0
248	34	2 x 17 rectangle	8	136	4623	1024	128	8	Detailed ...	0
184	34	3 x 16 open rec...	7	137	4645	1470	105	14	Chosen fo...	0
184	34	3 x 16 open rec...	7	137	4645	1470	105	14	Detailed ...	0
249	36	2 x 18 rectangle	8	129	4653	1088	136	8	Chosen fo...	0
249	36	2 x 18 rectangle	8	129	4653	1088	136	8	Detailed ...	0
250	38	2 x 19 rectangle	8	123	4687	1152	144	8	Chosen fo...	0
250	38	2 x 19 rectangle	8	123	4687	1152	144	8	Detailed ...	0
185	38	3 x 18 open rec...	7	124	4724	1666	119	14	Chosen fo...	0
186	42	3 x 20 open rec...	7	112	4724	1862	133	14	Chosen fo...	0
185	38	3 x 18 open rec...	7	124	4724	1666	119	14	Detailed ...	0
186	42	3 x 20 open rec...	7	112	4724	1862	133	14	Detailed ...	0
248	34	2 x 17 rectangle	7	140	4756	784	112	7	Detailed ...	0
249	36	2 x 18 rectangle	7	133	4774	833	119	7	Detailed ...	0
250	38	2 x 19 rectangle	7	127	4828	882	126	7	Detailed ...	0
251	40	2 x 20 rectangle	7	121	4843	931	133	7	Chosen fo...	0
251	40	2 x 20 rectangle	7	121	4843	931	133	7	Detailed ...	0
252	42	2 x 21 rectangle	7	115	4848	980	140	7	Chosen fo...	0
252	42	2 x 21 rectangle	7	115	4848	980	140	7	Detailed ...	0
253	44	2 x 22 rectangle	7	110	4851	1029	147	7	Chosen fo...	0
253	44	2 x 22 rectangle	7	110	4851	1029	147	7	Detailed ...	0
185	38	3 x 18 open rec...	6	129	4906	1224	102	12	Detailed ...	0
186	42	3 x 20 open rec...	6	117	4914	1368	114	12	Detailed ...	0
250	38	2 x 19 rectangle	6	132	5019	648	108	6	Detailed ...	0
249	36	2 x 18 rectangle	6	140	5025	612	102	6	Detailed ...	0
252	42	2 x 21 rectangle	6	120	5030	720	120	6	Detailed ...	0
253	44	2 x 22 rectangle	6	115	5041	756	126	6	Detailed ...	0
254	46	2 x 23 rectangle	6	110	5051	792	132	6	Chosen fo...	0
254	46	2 x 23 rectangle	6	110	5051	792	132	6	Detailed ...	0
251	40	2 x 20 rectangle	6	126	5052	684	114	6	Detailed ...	0
255	48	2 x 24 rectangle	6	105	5055	828	138	6		0
256	50	2 x 25 rectangle	6	101	5056	864	144	6		0

Ilustración 26. Tabla de las estimaciones por cada simulación S1 EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los parámetros de diseño de esta primera simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 34 sondeos, con profundidad de perforación de 133m, para un tipo de sonda de doble U teniendo en cuenta los picos en los meses de enero y febrero.

Demanda total calefacción: 390.847 kWh/año

Distancia entre sondeos: 9 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Double U

Configuración: 2 x 17 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10°C

Longitud total de intercambio: 4506 m

Longitud vertical por intercambiador: 133 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 27). Podemos observar que en el año 25 se alcanza el límite inferior de la temperatura del terreno, debido en este caso a los picos de demanda que se encuentran en los meses de enero y febrero.

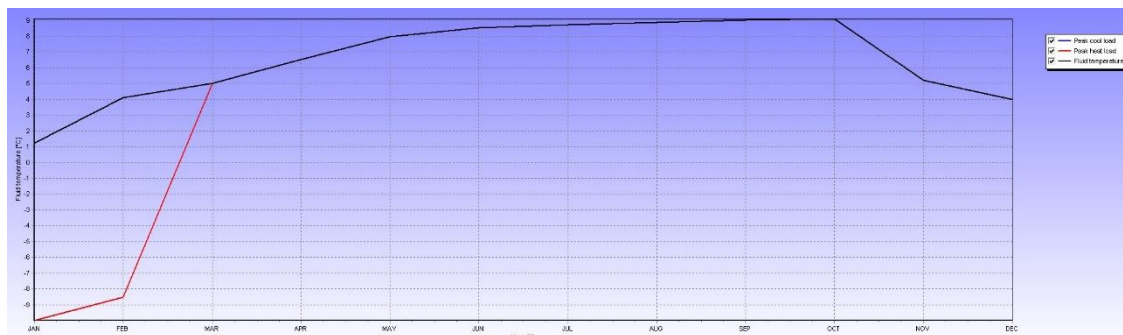


Ilustración 27. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la primera simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 28) muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Se puede observar cómo a medida que pasan los años, las temperaturas del fluido bajan de forma más o menos acusada, lo que responde a la lógica ya

que estamos funcionando solo en modo calefacción (estamos reduciendo la temperatura del terreno con el tiempo y, por tanto, la temperatura del fluido habrá de ser menor para poder absorber energía de él).

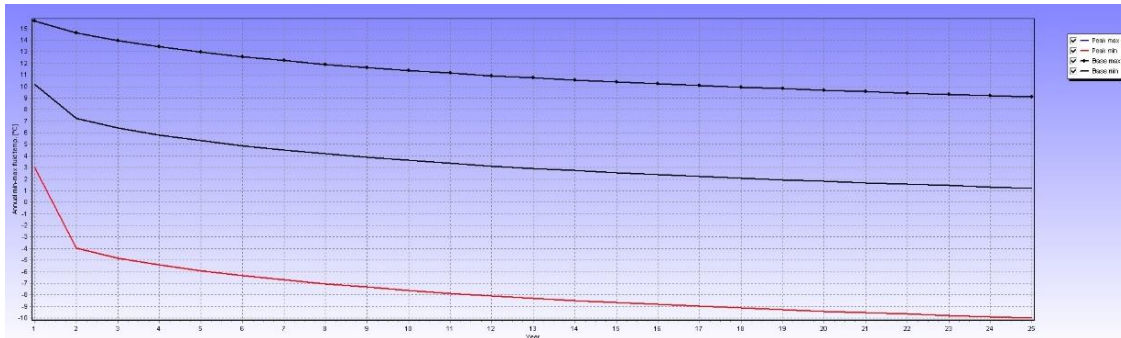


Ilustración 28. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la primera simulación EED

(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 27 e ilustración 28), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Alcanzamos temperaturas que se acercan a -10°C al cabo de 25 años, que llegue a temperaturas negativas afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. En cambio, las temperaturas máximas del fluido cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene muy por debajo de los 55°C . Algo lógico, ya que no estamos dimensionado para frío, que es lo que hace que se necesiten altas temperaturas del fluido (para ceder el calor del interior del edificio al terreno).

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema.

4.5.2.2. Simulación 2

Los datos que no varían a lo largo de toda la instalación, haremos referencia a su ilustración en la simulación anterior. Así que, como puede verse en la ilustración 21, y de acuerdo a la geología del terreno previamente analizada, la conductividad del terreno toma un valor de $2,4\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, la capacidad térmica volumétrica uno de $2,2\text{MJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ y la temperatura del terreno es 14° .

El siguiente punto es definir las características del intercambiador de calor (ilustración 22). En este caso hemos seleccionado una sonda tipo doble U, con un diámetro de perforación de $139,7\text{mm}$, el caudal por sondeo es de $0,925\text{ l/s}$ y en el que la separación de los tubos es de 80mm .

A continuación, metemos los datos de las demandas energéticas mensuales de calefacción del edificio como vemos en la ilustración 24. Estos datos fueron expuestos previamente en la Tabla 3, aunque en el software se corresponden con el valor de MWh de energía que es consumida cada mes.

Ahora vamos a definir los picos como se muestra en la ilustración 34, esto significa señalar los meses en los que se puede llegar a necesitar que la bomba trabaje a su máxima potencia, que en nuestros datos de calefacción sería en los meses de enero y febrero ya que son los más fríos.

EED3 permite calcular los metros de intercambio necesarios para que la instalación, además de satisfacer la demanda energética, cumpla con unos límites de temperatura preestablecidos para el fluido caloportador. Estos límites se fijan en este submenú que aparece en la ilustración 26 y estarán marcados generalmente por el riesgo de congelación en el evaporador de la bomba de calor. Son los límites que no deben sobrepasarse, una temperatura del fluido media mínima de -10 °C y una temperatura media máxima de 55 °C.

Con estos datos el programa procede a realizar la simulación, cuyo objetivo principal es la estimación del número de sondeos y su profundidad. El programa hace varias estimaciones jugando con la profundidad, el número de sondeos y su distribución en el campo de sondas como veremos en la siguiente ilustración 29. De estas estimaciones procederemos a elegir una por simulación, que será la más eficiente según nuestras necesidades.

File

Config

0

-

797

Optimize

Max land area

14

x

140

m²

Borehole spacing

5

-

10

m

Borehole depth

100

-

140

m

Max no boreholes

200

</

Ilustración 29. Tabla de las estimaciones por cada simulación S2 EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los parámetros de diseño de esta segunda simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 42 sondeos, con profundidad de perforación de 130m, para un tipo de sonda de simple U teniendo en cuenta los picos en los meses de enero y febrero.

Demanda total calefacción: 390.847 kWh/año

Distancia entre sondeos: 7 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Simple U

Configuración: 3 x 20 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10°C

Longitud total de intercambio: 5441 m

Longitud vertical por intercambiador: 130 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 30). Podemos observar que en el año 25 se alcanza el límite inferior de la temperatura del terreno, debido en este caso a los picos de demanda que se encuentran en los meses de enero y febrero.

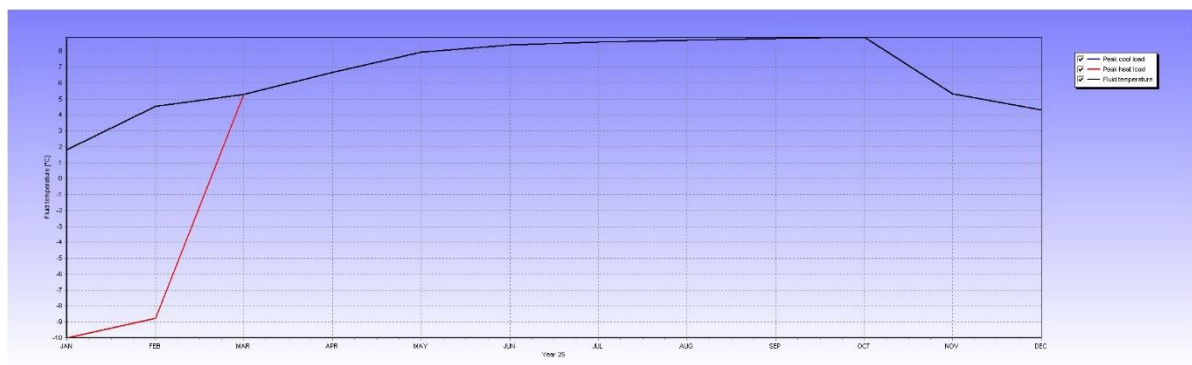


Ilustración 30. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la segunda simulación EED

(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 31) muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Se puede observar cómo a medida que pasan los años, las temperaturas del fluido bajan de forma más o menos acusada, lo que responde a la lógica ya

que estamos funcionando solo en modo calefacción (estamos reduciendo la temperatura del terreno con el tiempo y, por tanto, la temperatura del fluido habrá de ser menor para poder absorber energía de él).

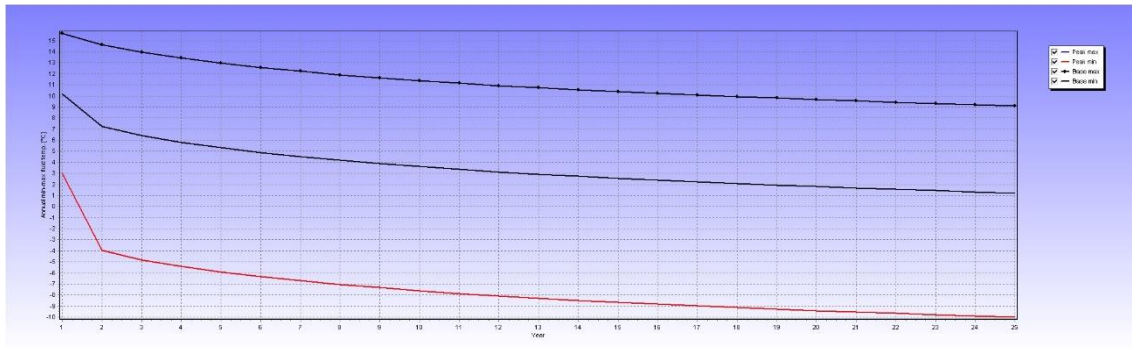


Ilustración 31. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la segunda simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 30 e ilustración 31), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Alcanzamos temperaturas que se acercan a -10°C al cabo de 25 años, que llegue a temperaturas negativas afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. En cambio, las temperaturas máximas del fluido cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene muy por debajo de los 55°C . Algo lógico, ya que no estamos dimensionado para frío, que es lo que hace que se necesiten altas temperaturas del fluido (para ceder el calor del interior del edificio al terreno).

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema.

Si comparamos esta simulación con la anterior, vemos que el número de sondeos aumenta considerablemente pasamos de 34 a 42, lo que supondría que este campo de sondas es menos eficiente, esto traducido en metros de sondeo supone una diferencia de 935m, algo que aumentaría nuestro presupuesto considerablemente, por lo tanto, esta simulación de sonda tipo simple U queda descartada.

4.5.2.3. Simulación 3

Los datos que no varían a lo largo de toda la instalación, haremos referencia a su ilustración en la simulación anterior. Así que, como puede verse en la ilustración 21, y de acuerdo a la geología del terreno previamente analizada, la conductividad del terreno toma un valor de $2,4\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, la capacidad térmica volumétrica uno de $2,2\text{ MJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ y la temperatura del terreno es 14° .

El siguiente punto es definir las características del intercambiador de calor (ilustración 22). En este caso hemos seleccionado una sonda tipo doble U, con un diámetro de perforación de $139,7\text{mm}$, el caudal por sondeo es de $0,925\text{ l/s}$ y en el que la separación de los tubos es de 80mm .

A continuación, metemos los datos de las demandas energéticas mensuales de calefacción del edificio como vemos en la ilustración 24. Estos datos fueron expuestos previamente en la Tabla 3, aunque en el software se corresponden con el valor de MWh de energía que es consumida cada mes.

En esta simulación, vamos a prescindir de meter picos, siguiendo el orden y las características de las simulaciones explicado en la introducción.

EED3 permite calcular los metros de intercambio necesarios para que la instalación, además de satisfacer la demanda energética, cumpla con unos límites de temperatura preestablecidos para el fluido caloportador. Estos límites se fijan en este submenú que aparece en la ilustración 26 y estarán marcados generalmente por el riesgo de congelación en el evaporador de la bomba de calor. Son los límites que no deben sobrepasarse, una temperatura del fluido media mínima de -10°C y una temperatura media máxima de 55°C .

Con estos datos el programa procede a realizar la simulación, cuyo objetivo principal es la estimación del número de sondeos y su profundidad. El programa hace varias estimaciones jugando con la profundidad, el número de sondeos y su distribución en el campo de sondas como veremos en la siguiente ilustración 32. De estas estimaciones procederemos a elegir una por simulación, que será la más eficiente según nuestras necesidades.

File

Config

0

x

797

Optimize

Max land area

14

x

140

m²

Borehole spacing

5

x

10

m

Borehole depth

100

x

140

m

Max no boreholes

200

Config

Spacing

☒ Automatic grid step

109/109 "3 x 9, U-configuration"

7 m

☒ Round off values

Best config: 14 15 16 18 17 19 242 240 241 109

☐ Also list cases with warnings

Solutions found: 75

Analysis started 17:31:05, stopped 17:31:42 time: 37s Double click on row for details

Step: 2 m

Sort:

Total length

Cost

Config	No bh	Type	Spacing [m]	Depth [m]	Total length [m]	Land area [m²]	Length [m]	Width [m]	Comments	Cost [EUR]
14	15	1 x 15 line	10	132	1985	140	140	1	Chosen for detailed analysis	0
14	15	1 x 15 line	10	132	1985	140	140	1	Detailed analysis	0
14	15	1 x 15 line	9	136	2035	126	126	1	Detailed analysis	0
14	15	1 x 15 line	8	139	2090	112	112	1	Detailed analysis	0
15	16	1 x 16 line	9	128	2053	135	135	1	Chosen for detailed analysis	0
15	16	1 x 16 line	9	128	2053	135	135	1	Detailed analysis	0
15	16	1 x 16 line	8	131	2103	120	120	1	Detailed analysis	0
15	16	1 x 16 line	7	135	2164	105	105	1	Detailed analysis	0
16	17	1 x 17 line	9	121	2063	144	144	1	Chosen for detailed analysis	0
16	17	1 x 17 line	9	121	2063	144	144	1	Detailed analysis	0
16	17	1 x 17 line	8	125	2127	128	128	1	Detailed analysis	0
16	17	1 x 17 line	7	129	2187	112	112	1	Detailed analysis	0
16	17	1 x 17 line	6	135	2287	96	96	1	Detailed analysis	0
17	18	1 x 18 line	8	118	2131	136	136	1	Chosen for detailed analysis	0
17	18	1 x 18 line	8	118	2131	136	136	1	Detailed analysis	0
17	18	1 x 18 line	7	123	2207	119	119	1	Detailed analysis	0
17	18	1 x 18 line	6	128	2304	102	102	1	Detailed analysis	0
240	18	2 x 9 rectangle	10	129	2318	800	80	10	Chosen for detailed analysis	0
240	18	2 x 9 rectangle	10	129	2318	800	80	10	Detailed analysis	0
240	18	2 x 9 rectangle	9	133	2389	648	72	9	Detailed analysis	0
17	18	1 x 18 line	5	136	2452	85	85	1	Chosen for detailed analysis	0
240	18	2 x 9 rectangle	8	138	2483	512	64	8	Detailed analysis	0
179	18	3 x 8 open rect...	7	140	2512	686	49	14		0
18	19	1 x 19 line	8	112	2130	144	144	1	Chosen for detailed analysis	0
18	19	1 x 19 line	8	112	2130	144	144	1	Detailed analysis	0
18	19	1 x 19 line	7	116	2212	126	126	1	Detailed analysis	0
18	19	1 x 19 line	6	121	2303	108	108	1	Detailed analysis	0
18	19	1 x 19 line	5	130	2468	90	90	1	Chosen for detailed analysis	0
109	19	3 x 9 U-configu...	7	132	2501	784	56	14	Chosen for detailed analysis	0

Ilustración 32. Tabla de las estimaciones por cada simulación S3 EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los parámetros de diseño de esta tercera simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 18 sondeos, con profundidad de perforación de 129m, para un tipo de sonda de doble U sin tener en cuenta los picos.

Demanda total calefacción: 390.847 kWh/año

Distancia entre sondeos: 10 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Double U

Configuración: 2x 9 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10°C

Longitud total de intercambio: 2318 m

Longitud vertical por intercambiador: 129 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 33). Podemos observar

que en el año 25 se alcanza el límite inferior de la temperatura del terreno.

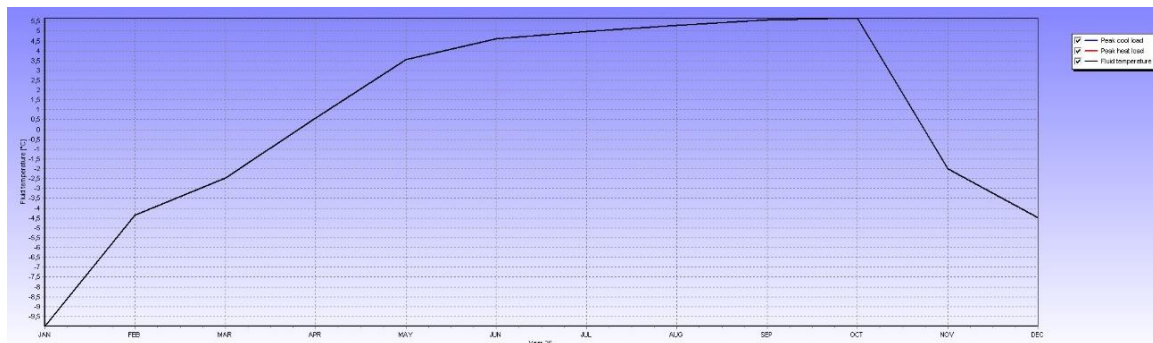


Ilustración 33. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la tercera simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 34) muestra las curvas de la variación temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Se puede observar cómo a medida que pasan los años, las temperaturas del fluido bajan de forma más o menos acusada, lo que responde a la lógica ya que estamos funcionando solo en modo calefacción (estamos reduciendo la temperatura del terreno con el tiempo y, por tanto, la temperatura del fluido habrá de ser menor para poder absorber energía de él).

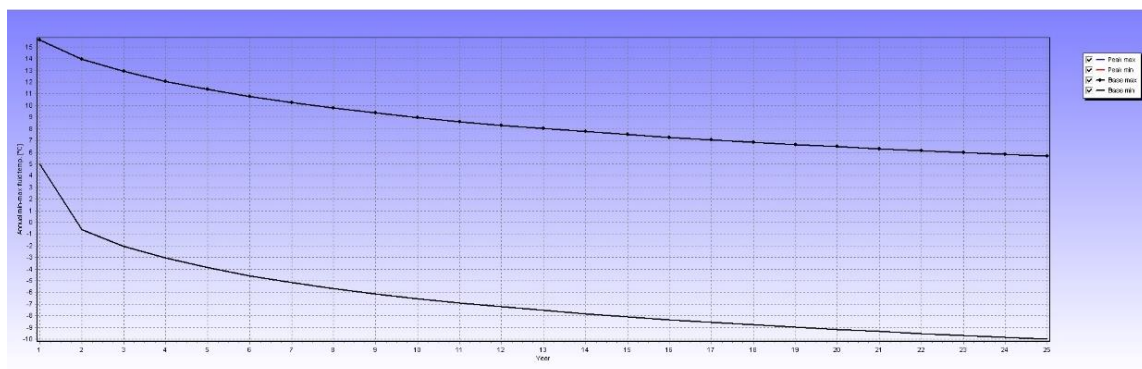


Ilustración 34. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la tercera simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 33 e ilustración 34), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Alcanzamos temperaturas que se acercan a -10°C al cabo de 25 años, que llegue a temperaturas negativas afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. En cambio, las temperaturas máximas del fluido cumplen con los requisitos de funcionamiento, es

decir, la temperatura del fluido se mantiene muy por debajo de los 55°C. Algo lógico, ya que no estamos dimensionado para frío, que es lo que hace que se necesiten altas temperaturas del fluido (para ceder el calor del interior del edificio al terreno).

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema, ya que, al no incluir los picos, ajustamos mucho más el sistema y hacemos que su instalación sea más real y eficiente.

Como conclusión final, el escenario reflejado en la Simulación 3 sería el escogido para llevar a cabo en el edificio de Camino-Laboratorios y su distribución en planta está en PLANOS. La razón es las temperaturas en invierno en Santander son suaves, por lo que no siempre se llegaría a los picos descritos en la Simulación 1, estaríamos sobredimensionando la instalación, ya que como vemos pasamos de 34 a 18 sondeos.

Cabe destacar que esta simulación está realizada a la baja para obtener la peor situación posible, seguramente con un Test de Respuesta Térmica (TRT) se reduzca el número de sondeos a realizar ya que ahora no estamos teniendo en cuenta el agua en el terreno (nivel freático a cota 0) que mejora considerablemente la conductividad térmica del terreno.

También es reseñable que las curvas de la simulación quedan muy justas porque la instalación actual es sólo de calefacción, aunque el diseño de las sondas actual permitiría instalar una red de aire acondicionado para el edificio (no se ha incluido aquí porque no tenemos los datos de climatización necesarios), lo que haría que esas curvas se equilibrasen.

En su defecto (si no se complementa esta instalación con una de aire acondicionado en el futuro), para compensar el sistema se podría añadir un sistema de paneles solares que, en verano captaran calor para recargar el terreno y así equilibrar las curvas mejorando el rendimiento del terreno.

4.5.3. Simulaciones en Caminos-Aulas

Debido a que los escenarios de simulación son los mismos que en el edificio de Caminos-Laboratorios y en el mismo orden que explicamos en la introducción, y a que sólo cambia la demanda, ahora tenemos 391.857kWh/año (la variación es prácticamente nula) y el espacio en planta para las perforaciones que quedará reflejado en los planos. Únicamente vamos a reflejar los resultados de cada nueva simulación. Los principales datos que van a variar serán la profundidad, el número y la disposición de los sondeos, como ya hemos comprobado anteriormente.

4.5.3.1. Simulación 4

Los parámetros de diseño de esta cuarta simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 34 sondeos, con profundidad de perforación de 133m, para un tipo de sonda de doble U teniendo en cuenta los picos en los meses de enero y febrero.

Demanda total calefacción: 391.857 kWh/año

Distancia entre sondeos: 9 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Double U

Configuración: 2 x 17 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10°C

Longitud total de intercambio: 4506 m

Longitud vertical por intercambiador: 133 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 35). Podemos observar que en el año 25 se alcanza el límite inferior de la temperatura del terreno, debido en este caso a los picos de demanda que se encuentran en los meses de enero y febrero.

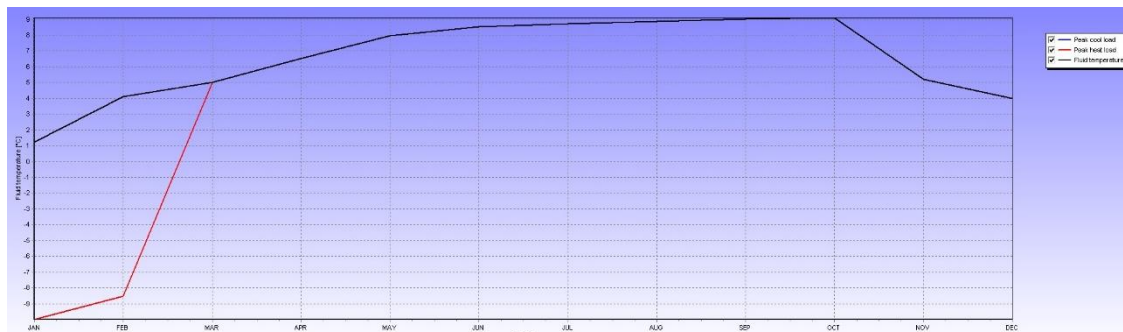


Ilustración 35. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la cuarta simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 36) muestra las curvas de la variación temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Se puede

observar cómo a medida que pasan los años, las temperaturas del fluido bajan de forma más o menos acusada, lo que responde a la lógica ya que estamos funcionando solo en modo calefacción (estamos reduciendo la temperatura del terreno con el tiempo y, por tanto, la temperatura del fluido habrá de ser menor para poder absorber energía de él).

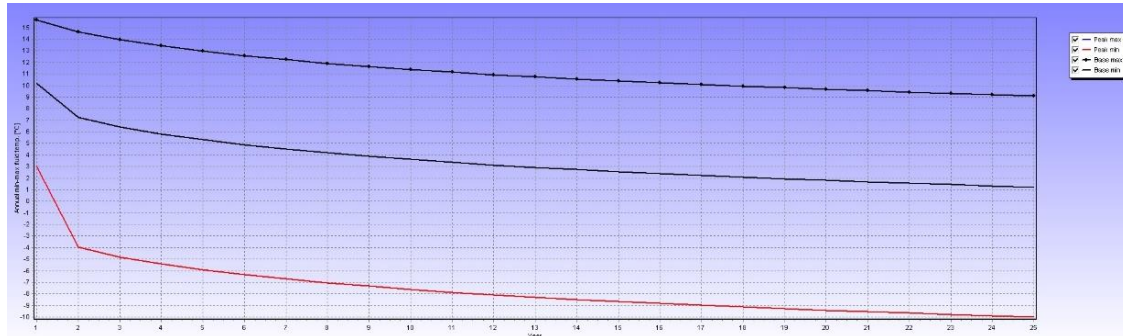


Ilustración 36. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la cuarta simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 35 e ilustración 36), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Alcanzamos temperaturas que se acercan a -10°C al cabo de 25 años, que llegue a temperaturas negativas afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. En cambio, las temperaturas máximas del fluido cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene muy por debajo de los 55°C . Algo lógico, ya que no estamos dimensionado para frío, que es lo que hace que se necesiten altas temperaturas del fluido (para ceder el calor del interior del edificio al terreno).

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema.

4.5.3.2. Simulación 5

Los parámetros de diseño de esta quinta simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 42 sondeos, con profundidad de perforación de 130m, para un tipo de sonda de simple U teniendo en cuenta los picos en los meses de enero y febrero.

Demanda total calefacción: 391.857 kWh/año

Distancia entre sondeos: 7 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Simple U

Configuración: 3 x 20 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10 °C

Longitud total de intercambio: 5441 m

Longitud vertical por intercambiador: 130 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 37). Podemos observar que en el año 25 se alcanza el límite inferior de la temperatura del terreno, debido en este caso a los picos de demanda que se encuentran en los meses de enero y febrero.

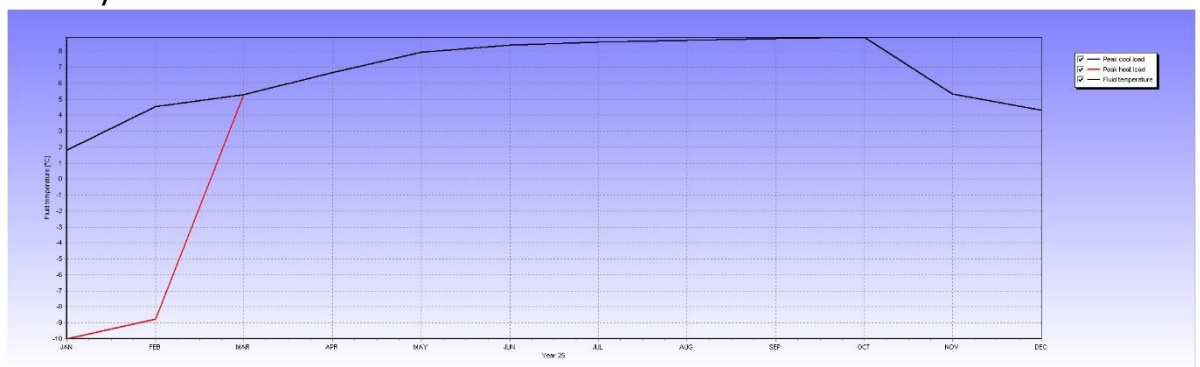


Ilustración 37. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la quinta simulación EED

(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 38) muestra las curvas de la variación temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Se puede observar cómo a medida que pasan los años, las temperaturas del fluido bajan de forma más o menos acusada, lo que responde a la lógica ya que estamos funcionando solo en modo calefacción (estamos reduciendo la temperatura del terreno con el tiempo y, por tanto, la temperatura del fluido habrá de ser menor para poder absorber energía de él).

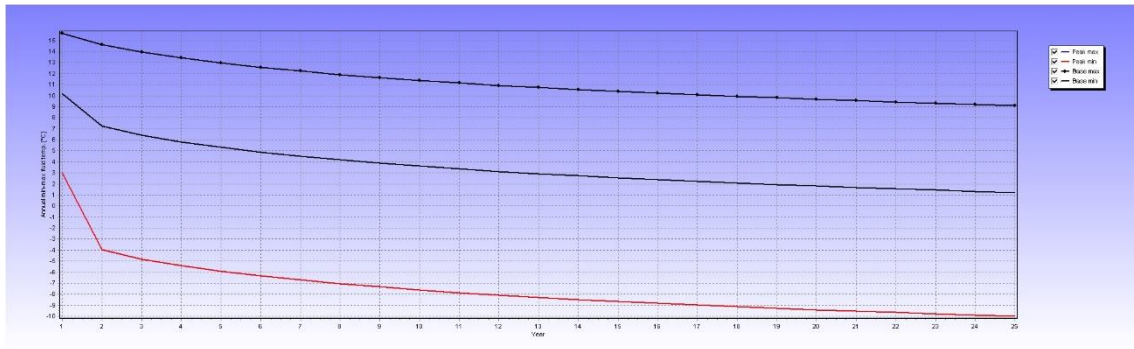


Ilustración 38. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la quinta simulación EED

(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 37 e ilustración 38), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Alcanzamos temperaturas que se acercan a -10°C al cabo de 25 años, que llegue a temperaturas negativas afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. En cambio, las temperaturas máximas del fluido cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene muy por debajo de los 55°C . Algo lógico, ya que no estamos dimensionado para frío, que es lo que hace que se necesiten altas temperaturas del fluido (para ceder el calor del interior del edificio al terreno).

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema. Si comparamos esta simulación con la anterior, vemos que el número de sondeos aumenta considerablemente pasamos de 34 a 42, lo que supondría que este campo de sondas es menos eficiente, esto traducido en metros de sondeo supone una diferencia de 935m, algo que aumentaría nuestro presupuesto considerablemente, por lo tanto, esta simulación de sonda tipo simple U queda descartada.

4.5.3.3. Simulación 6

Los parámetros de diseño de esta sexta simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 18 sondeos, con profundidad de perforación de 129m, para un tipo de sonda de doble U sin tener en cuenta los picos.

Demanda total calefacción: 391.857 kWh/año

Distancia entre sondeos: 10 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Double U

Configuración: 2x 9 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10 °C

Longitud total de intercambio: 2318 m

Longitud vertical por intercambiador: 129 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 39). Podemos observar que en el año 25 se alcanza el límite inferior de la temperatura del terreno.

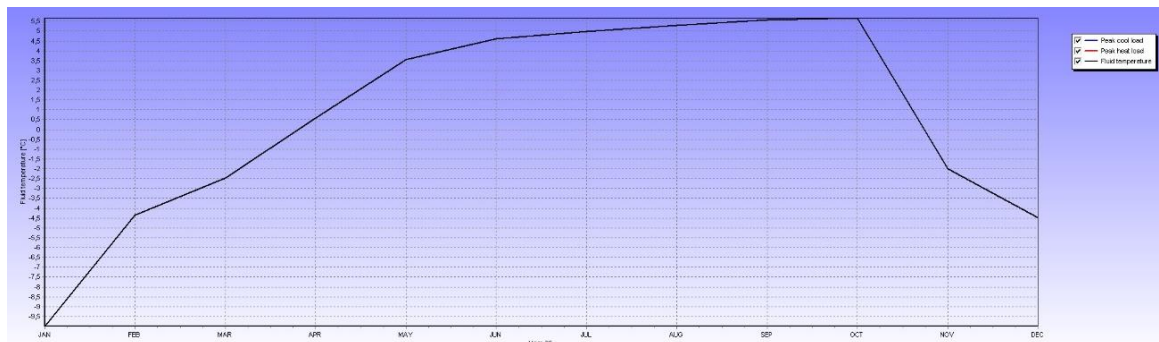


Ilustración 39. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la sexta simulación EED

(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 40) muestra las curvas de la variación temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Se puede observar cómo a medida que pasan los años, las temperaturas del fluido bajan de forma más o menos acusada, lo que responde a la lógica ya que estamos funcionando solo en modo calefacción (estamos reduciendo la temperatura del terreno con el tiempo y, por tanto, la temperatura del fluido habrá de ser menor para poder absorber energía de él).

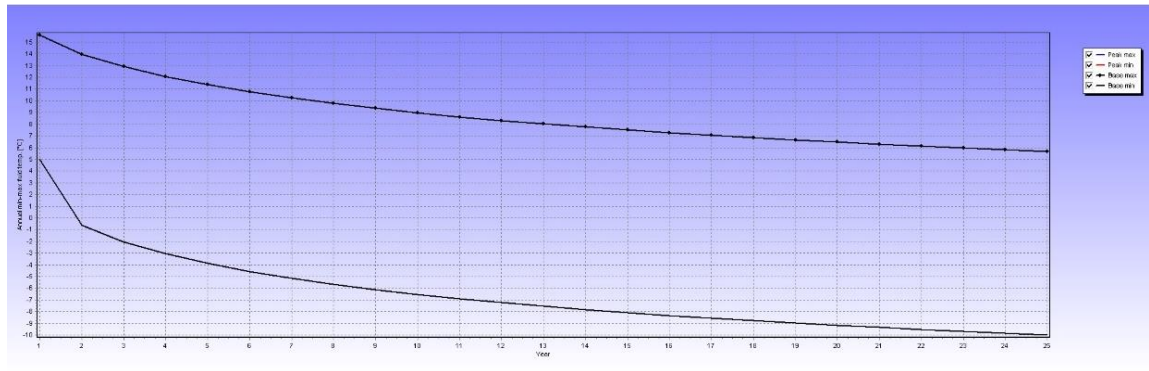


Ilustración 40. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la sexta simulación EED

(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 39 e ilustración 40), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Alcanzamos temperaturas que se acercan a -10°C al cabo de 25 años, que llegue a temperaturas negativas afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. En cambio, las temperaturas máximas del fluido cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene muy por debajo de los 55°C . Algo lógico, ya que no estamos dimensionado para frío, que es lo que hace que se necesiten altas temperaturas del fluido (para ceder el calor del interior del edificio al terreno).

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema, ya que, al no incluir los picos, ajustamos mucho más el sistema y hacemos que su instalación sea más real y eficiente.

Como conclusión final, el escenario reflejado en la Simulación 6 sería el escogido para llevar a cabo en el edificio de Camino-Laboratorios y su distribución en planta está en PLANOS. La razón es las temperaturas en invierno en Santander son suaves, por lo que no siempre se llegaría a los picos descritos en la Simulación 4, estaríamos sobredimensionando la instalación, ya que como vemos pasamos de 34 a 18 sondeos.

Cabe destacar que esta simulación está realizada a la baja para obtener la peor situación posible, seguramente con un Test de Respuesta Térmica (TRT) se reduzca el número de sondeos a realizar ya que ahora no estamos teniendo en cuenta el agua en el terreno (nivel freático a cota 0) que mejora considerablemente la conductividad térmica del terreno.

También es reseñable que las curvas de la simulación quedan muy justas porque la instalación actual es sólo de calefacción, aunque el diseño de las

sondas actual permitiría instalar una red de aire acondicionado para el edificio (no se ha incluido aquí porque no tenemos los datos de climatización necesarios), lo que haría que esas curvas se equilibrasen.

En su defecto (si no se complementa esta instalación con una de aire acondicionado en el futuro), para compensar el sistema se podría añadir un sistema de paneles solares que, en verano captaran calor para recargar el terreno y así equilibrar las curvas mejorando el rendimiento del terreno.

4.5.4. Simulaciones con refrigeración

A continuación, y a modo de ejemplo vamos a hacer una simulación añadiendo también la refrigeración.

Como hemos visto en las simulaciones realizadas hasta ahora, la prácticamente nula diferencia entre las demandas de calefacción en Caminos-Laboratorios y Caminos- Aulas, no han generado ningún cambio en los resultados. Por lo que ahora calcularemos esta nueva simulación con los datos de Caminos-Aulas, aunque asumimos los mismos resultados para Caminos-Laboratorios.

La demanda de refrigeración que hemos estimado es de unos 100.000kWh/año debido a que las temperaturas en verano en Santander no son demasiado altas, y la duración del verano es 3 veces menor que la duración de la época de demanda de calefacción.

Esta simulación es necesaria para comprobar lo que hemos dicho antes, que vamos a tener una mayor eficiencia de la instalación ya que al ir cargando y descargando el terreno según el tipo de demanda, el sistema se equilibrará (ya no sólo le estamos sacando el calor al terreno) y lo veremos reflejado en las curvas.

4.5.4.1. Simulación 7

La simulación 7 será como la simulación 6 a la que le añadimos la demanda de refrigeración, esto quiere decir que no están incluidos los picos.

A continuación, metemos los datos de las demandas energéticas mensuales del edificio, tanto de calor, como de frío, como vemos en la ilustración 41:

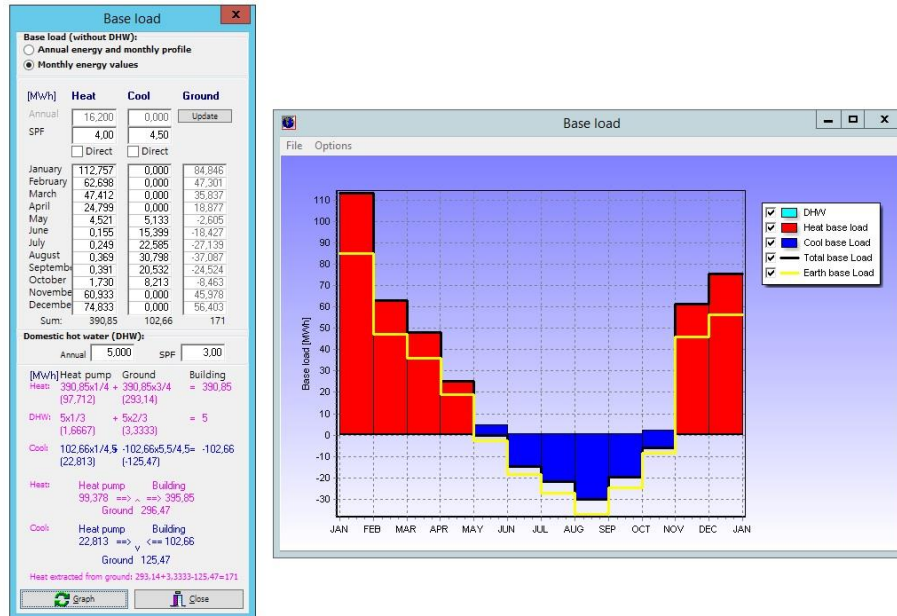


Ilustración 41. Demandas energéticas mensuales S7 EED
(Fuente: Elaboración propia)

En este caso no vamos a definir picos ya que como hemos comentado antes, las temperaturas en Santander en invierno son suaves y queremos ajustar nuestra instalación para que sea lo más económica y eficiente posible.

Los parámetros de diseño de esta séptima simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 13 sondeos, con profundidad de perforación de 132m, para un tipo de sonda de doble U sin tener en cuenta los picos.

Demanda total calefacción: 391.857 kWh/año

Demanda total refrigeración: 102.660 kWh/año

Distancia entre sondeos: 10 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Double U

Configuración: 1x 13 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10°C

Longitud total de intercambio: 1711 m

Longitud vertical por intercambiador: 132 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 42). Si la comparamos con la ilustración 39 vemos que la temperatura del terreno ha aumentado, aunque sigue lejos de los límites todavía. La diferencia de la forma de la curva actual con la anterior se aprecia a simple vista, esta es más equilibrada, como ya habíamos supuesto antes.

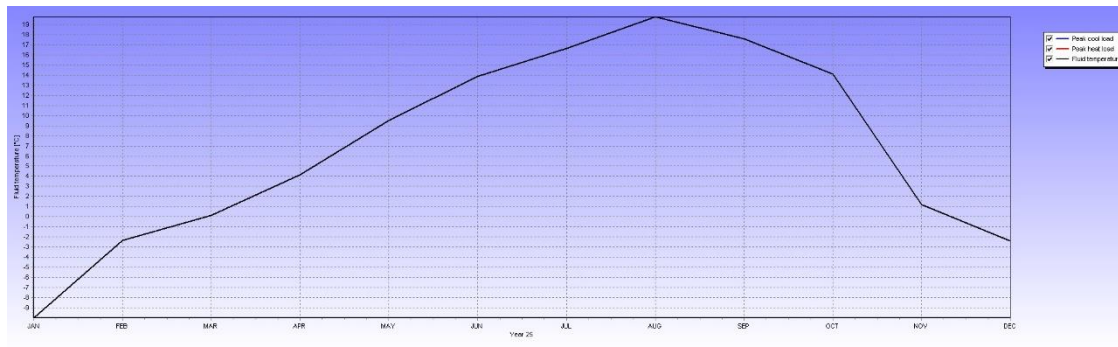


Ilustración 42. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la séptima simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica (ilustración 43) muestra las curvas de la variación de temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento. Aquí sí que se nota una gran diferencia con la ilustración 40, las temperaturas del fluido ya no bajan de forma tan acusada, lo que responde a la lógica ya que ahora estamos extrayendo calor del terreno, pero también le estamos recargando en los meses de verano. Aunque como seguimos cogiendo más calor que el que cedemos, la temperatura del terreno sigue bajando, pero de una forma mucho más paulatina.

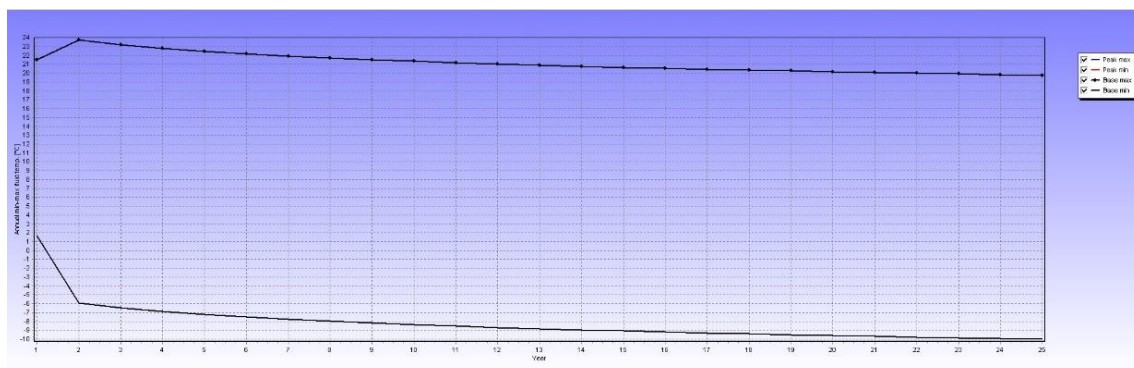


Ilustración 43. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la séptima simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 42 e ilustración 43), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Ahora ya no alcanzamos temperaturas tan próximas a -10°C al cabo de 25 años, aunque todavía llegamos a temperaturas negativas, lo que afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. Si nos fijamos ahora en las temperaturas máximas del fluido siguen cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene por debajo de los 55°C , pero ha aumentado significativamente respecto de la simulación 6. Algo lógico, ya que estamos dimensionado los ciclos de frío-calor con mucho más equilibrio.

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema, ya que, al no incluir los picos, ajustamos mucho más el sistema y hacemos que su instalación sea más real y eficiente.

Como conclusión final, en caso de que se acoplase una instalación de aire acondicionado, ésta podría ser una muy buena solución a tomar, ya que equilibra el ciclo de calor en el terreno. Y además vemos que se han reducido el número de sondeos pasando de 18 a 13, y por lo tanto también ha disminuido la longitud total de intercambio 607m, con lo que estaríamos rentabilizando mucho más la instalación.

4.5.4.2. Simulación 8

La simulación 8 será como la simulación 4 a la que le añadimos la demanda de refrigeración, por lo que incluiremos los picos de demanda en los meses de enero y febrero ya que son los más fríos.

A continuación, metemos los datos de las demandas energéticas mensuales del edificio, tanto de calor, como de frío, como vemos en la ilustración 44.

Los parámetros de diseño de esta cuarta simulación se muestran a continuación a modo de resumen.

Resulta un total de 28 sondeos, con una profundidad de perforación de 140m, para un tipo de sonda de doble U teniendo en cuenta los picos en los meses de enero y febrero.

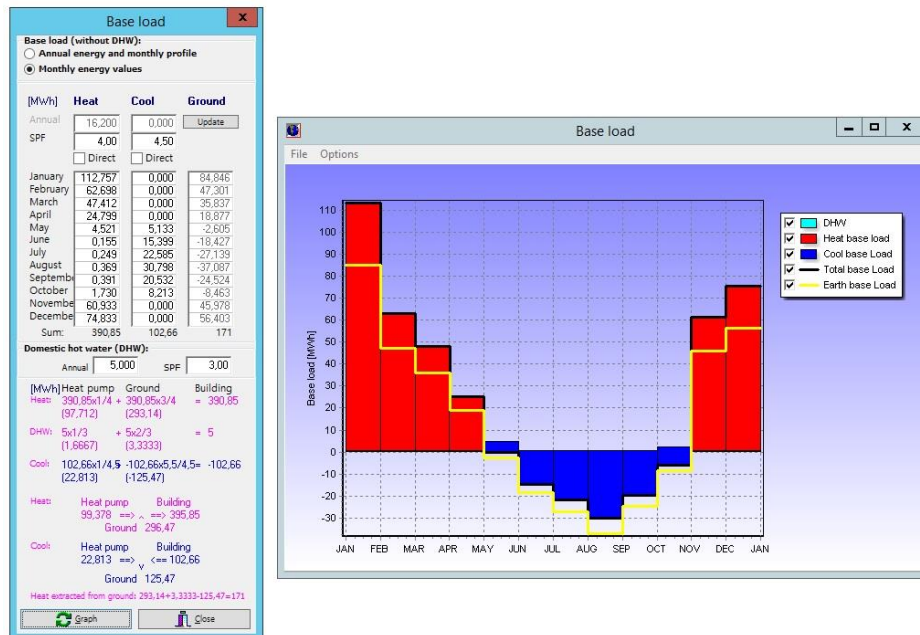


Ilustración 44. Demandas energéticas mensuales S8 EED
(Fuente: Elaboración propia)

Demanda total calefacción: 391.857 kWh/año

Demanda total refrigeración: 102.660 kWh/año

Distancia entre sondeos: 9 m

Conductividad térmica del terreno: 2,4 W/mK

Conductividad del relleno: 2,1 W/mK

Diámetro del sondeo: 139,7 mm

Tipo de sonda: Double U

Configuración: 2 x 14 U-configuration

Límite de temperatura de congelación: -10°C

Longitud total de intercambio: 3912 m

Longitud vertical por intercambiador: 140 m

La gráfica siguiente muestra las curvas de la variación temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas en el año 25 de vida de la instalación (ilustración 45). Podemos observar como este caso la curva está mucho más ajustada, con temperaturas por encima de los 0°C salvo en los picos. Si la comparamos con la simulación 4, no se aprecia una gran diferencia como nos pasaba cuando comparábamos las simulaciones 6 y 7, salvo en las temperaturas máximas del terreno ya que ahora también le estamos metiendo calor.

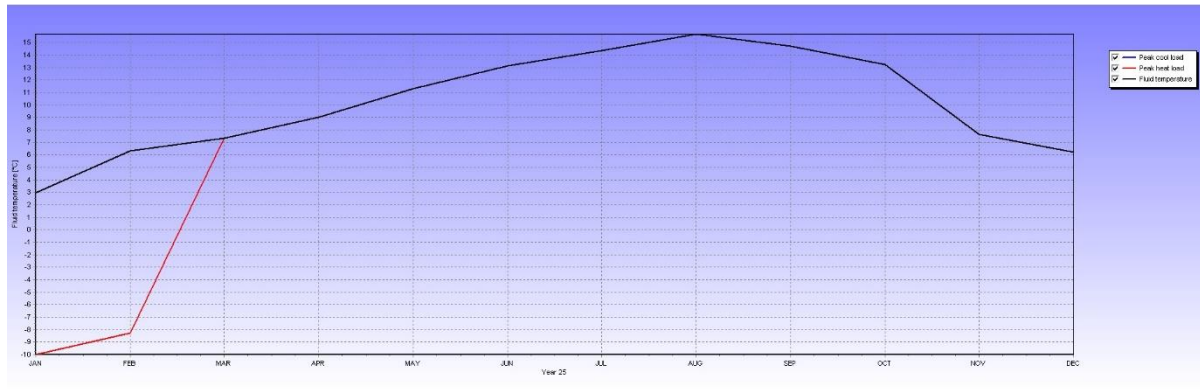


Ilustración 45. Representación de las temperaturas medias y pico del fluido caloportador en el año 25 de vida en la octava simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente gráfica muestra las curvas de la variación temperatura a la que circula el fluido caloportador a través de las sondas geotérmicas a lo largo de los 25 años de funcionamiento (ilustración 46). Aquí tampoco se aprecia una gran diferencia con la ilustración 36, las temperaturas del fluido son similares, sólo que en este caso las máximas son más altas porque le estamos metiendo calor al terreno.

En cambio, si la comparamos con la simulación 7, nos ocurre como en los casos anteriores calculados con y sin picos, que para que la curva esté equilibrada vamos a necesitar más recursos ya que tenemos temperaturas más extremas. También podemos comprobar que, aunque ahora estamos metiendo calor al terreno, seguimos cogiendo más calor que el que cedemos, por lo que la temperatura del terreno sigue bajando, pero de una forma mucho más paulatina que en los casos sin instalación refrigeración.

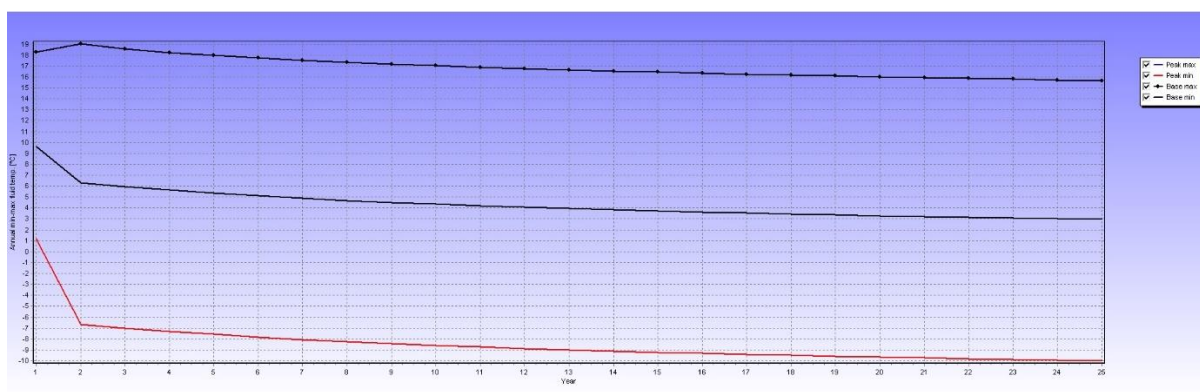


Ilustración 46. Representación de las temperaturas medias a lo largo de los 25 años de vida en la octava simulación EED
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados reflejados en estas gráficas (ilustración 45 e ilustración 46), determinan que para esta configuración la temperatura del fluido interior de las sondas está dentro de los límites marcados para el correcto funcionamiento de la instalación. Ahora ya no alcanzamos temperaturas tan próximas a -10°C al cabo de 25 años, aunque todavía llegamos a temperaturas negativas, lo que afecta al rendimiento de la bomba de calor. Es decir, esta instalación funciona perfectamente, pero su rendimiento irá disminuyendo con el paso de los años. Si nos fijamos ahora en las temperaturas máximas del fluido siguen cumplen con los requisitos de funcionamiento, es decir, la temperatura del fluido se mantiene por debajo de los 55°C , pero ha aumentado significativamente respecto de la simulación 4. Algo lógico, ya que estamos dimensionado los ciclos de frío-calor con mucho más equilibrio.

Esta simulación cumple perfectamente con los requisitos del sistema, ya que, al incluir los picos, estamos mucho más del lado de la seguridad, aunque teniendo en cuenta que llegar a los picos no sería algo habitual en los inviernos santanderinos no sería la configuración más eficiente.

Como conclusión final, en caso de que se acoplase una instalación de aire acondicionado, ésta podría ser una buena solución a tomar, ya que equilibra el ciclo de calor en el terreno y además nos aseguramos el abastecimiento de calor suficiente los días más fríos. Aunque si lo miramos por el lado de la eficiencia, vemos que, se han reducido el número de sondeos pasando de 34 a 28, también su longitud total de intercambio en 594m, pero no hemos logrado un gran ajuste comparado con las situaciones sin picos.

Ahora si analizamos la diferencia entre la simulación 7 y la simulación 8, como en anteriores casos en los que incluimos los picos en los cálculos, la necesidad de perforaciones y de metros de instalación se ve muy incrementada.

Cabe destacar que esta simulación está realizada a la baja para obtener la peor situación posible, seguramente con un Test de Respuesta Térmica (TRT) se reduzca el número de sondeos a realizar ya que ahora no estamos teniendo en cuenta el agua en el terreno (nivel freático a cota 0) que mejora considerablemente la conductividad térmica del terreno.

Por lo que la simulación 7, sería la más apropiada para un clima como el de Santander, ya que tenemos un pequeño margen de mejora debido a lo comentado en el párrafo anterior.

4.6. Ejecución del campo de sondas

4.6.1. Tipos de perforación

La perforación en el campo de la geotermia de baja entalpía ha adquirido un papel muy importante, ya que gracias a ella se puede llegar a profundidades idóneas para poder aprovechar gran parte del calor que llega del sol y que queda almacenado en la parte más superficial de la corteza terrestre.

Hoy en día las profundidades medias en las que se perfora, para poder obtener un buen rendimiento del intercambiador de calor con el terreno, están entre 90 y 150 m.

Los métodos de perforación actual son varios, pero los más utilizados y eficientes son los métodos que utilizan la percusión y la rotación para poder perforar, tal como se puede observar en la ilustración 47:

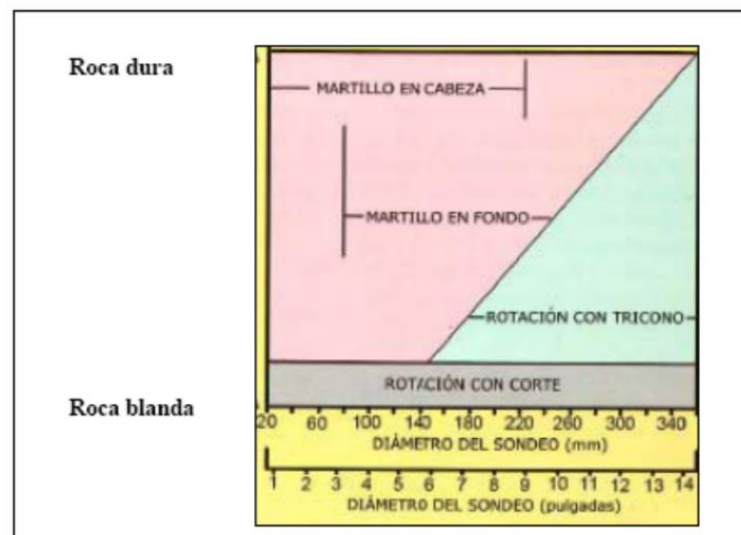


Ilustración 47. Tipos de perforación

(Fuente: Hytti, 1987)

Estos dos métodos son los siguientes:

- **Perforación a percusión:** utiliza exclusivamente la percusión para romper la roca.
 - Percusión simple: este método consiste en dejar caer un peso muerto acabado en punta para romper la roca. Se utiliza conjuntamente con agua para poder facilitar que se rompa la roca.
 - Rotopercusión: en este caso, además del movimiento de percusión, se le añade al útil del extremo de la broca, un movimiento de

rotación que aporta energía cinética al terreno, haciendo añicos el detrito. A su vez, hay dos tipos de rotopercusión:

- Con martillo de fondo: con este sistema el útil impacta directamente contra la roca y el movimiento de rotación se hace fuera de la perforación, transmitiéndolo a través del varillaje.
- Con el martillo en el exterior de la perforación: el movimiento de rotación y de percusión se producen en el exterior de la perforación y se transmiten a través del varillaje hasta el fondo del pozo.

• **Perforación a rotación:** la perforación se realiza a partir de un movimiento de rotación y uno de compresión, provocando un esfuerzo de cizalla que, al superar la resistencia de la roca, la rompe. Es decir, rompe la roca por rozamiento y no por impacto directo.

La perforación por rotación se puede realizar de varias maneras:

- Perforación por corte, un ejemplo sería la perforación con trialeta.
- Perforación con tricono.
- Perforación con corona de diamante (además del esfuerzo de la cizalla y el de compresión, este método aplica abrasión a la roca para poderla romper).

Los diferentes métodos de perforación, comentados anteriormente, se utilizan de manera diferente dependiendo de la formación geológica y consistencia del terreno. Así se distinguen dos grandes tipos de formaciones, sin lodos y con lodos:

• **Sin lodos:** se utiliza para terrenos duros (granitos, pizarras, etc.) que aguanten bien el golpe del aire comprimido contra las paredes del pozo.

• **Con lodos:** se utiliza en terrenos poco resistentes, que no soportan la acción del útil de perforación y que se hunden con facilidad (arenas, arcillas, etc.). Los lodos de perforación al igual que la espuma, disminuyen la densidad del detrito haciendo más efectiva la expulsión de éste del pozo.

Estos lodos se infiltran en zonas por los poros o grietas del sondeo, o en terrenos inestables como arenas, formando una fina pared con cierta resistencia que nos evita el derrumbe de las paredes del sondeo. Proporciona por tanto estabilidad al sondeo, aparte de la extracción del detritus antes mencionado. En zonas con muchas fisuras o donde se produzcan filtraciones de los lodos, estos no pueden ser usados, pues no

se usarían sus funciones básicas. Para evitar esto podemos hacer uso de las entubaciones.

Las entubaciones en sondeos, consisten en tuberías de diámetro menor al del sondeo, cuyas funciones principales son las de proteger el sondeo para, evitar pérdidas en la circulación de los lodos, evitar el derrumbe de paredes del sondeo, aislar acuíferos, proteger al sondeo de zonas expansivas o proteger la bomba sumergible para extracción de agua.

Según la tubería que se use se puede distinguir entre tubería provisional o definitiva. La provisional se utiliza durante la perforación para contener las paredes y poder continuar la misma, esta tubería se extrae al final del sondeo, aunque a veces es imposible extraerla y se queda en el mismo. La definitiva es la que se coloca cuando se termina el sondeo, y es la que sirve para la explotación del acuífero y para proteger la bomba sumergible de extracción de agua.

Las tuberías que se utilizan normalmente son metálicas y de PVC. Dentro de las tuberías metálicas, lo más normal es utilizar tuberías de acero al carbono, pero si el agua es agresiva o el acuífero a extraer no puede estar en contacto con tuberías de acero al carbono por los óxidos que desprende, caso del agua mineral, se utilizan tuberías de acero inoxidable.

Las tuberías de PVC se utilizan cuando el agua que se quiere extraer no conviene que esté en contacto con tuberías de acero al carbono, por el posible desprendimiento porque las aguas del acuífero son muy corrosivas y el acero al carbono se deteriora rápidamente. Los tubos de PVC resisten de forma permanente el ataque de aguas subterráneas de cualquier tipo, agua de mar, lixiviados, ácidos diluidos, etc., así como tratamientos regenerantes y desinfectantes.

Cuando el sondeo se realiza con entubación definitiva de un sondeo para captación de aguas subterráneas, se colocan tramos de tubería filtrante enfrente de los acuíferos que se van a explotar, permitiendo el paso de los fluidos al interior de la tubería. Estos tramos filtrantes evitan la introducción de finos dentro del sondeo y retienen la grava silíceas que se ponga, permitiendo el desarrollo del sondeo. Los tramos filtrantes pueden ser ranuras o filtros de puentecillo. La abertura, en caso de no poner empaque de grava, está en función del tamaño de grano de la formación, debiendo ser menor que éste (un 0.8 el tamaño más grande utilizado).

En estos sondeos verticales se introducen los intercambiadores en su posición final y el espacio sobrante se rellena de un material, que reúne las siguientes características, elevada conductividad térmica, baja permeabilidad, buena adhesión a la sonda y al terreno, elevada resistencia a las heladas y no ser perjudicial para las aguas subterráneas.

Los sondeos tendrán un diámetro de 139,7 mm, que permita introducir las sondas y un recubrimiento de mortero. La perforación de este tipo de suelo puede ser ejecutado mediante rotación directa con el empleo de lodos en circulación directa para la extracción del detritus. Las entubaciones serán necesarias al menos en la primera parte del sondeo para asegurar el sostenimiento del terreno.

4.6.2. Introducción de las sondas

La introducción del intercambiador se realizará una vez la perforación esté acondicionada, de manera que se eviten posibles colapsos de las paredes del sondeo. Se revisará que las sondas carezcan de arañosos ocasionados en el transporte o durante su manipulación.

Las sondas geotérmicas de polietileno de alta densidad PE100, tipo doble U, SDR 11 y diámetro 32 mm, se introducirán junto a un tubo de polietileno de alta densidad PE100 de diámetro 25 o 32 mm para inyección de relleno. Las sondas dispondrán de separadores que mantengan los tubos separados entre sí una distancia dada, llevando en el centro el registro para colocar el tubo de inyección. De igual forma, las sondas irán lastradas mediante un peso anclado al pie de sonda o pieza en U.

Las sondas se introducirán cargadas de la mezcla de agua-anticongelante. Esto permitirá que la tubería baje por gravedad, con la precaución de introducirlas a una velocidad demasiado alta que evite el roce las sondas con la boca o las paredes de la perforación. Se introducirá manualmente o con la ayuda de un mecanismo desenrollador (ilustración 48).



Ilustración 48. Desenrollador
(Fuente: <http://www.mglobal.es/geotermia/>)

Antes de introducir el material de relleno se recomienda realizar una primera prueba de presión sometiendo al intercambiador a una presión de 6 bar durante 30 min, según lo indicado en el Pliego de condiciones. La

presión no podrá descender más de 0,6 bar. En caso de no superar la prueba, será necesario cambiar el colector.

A continuación, se inyectará el material de relleno, que habrá de tener el valor de conductividad térmica apropiado, se aconseja el uso de un mortero tipo ENERGROUT HD 2.1 de 2,1 w/mK, mientras preserva su inocuidad respecto al medio en el que se inyecta. Habrá de ser, además impermeable, de manera que se evite la comunicación entre acuíferos. Este relleno proporcionará el adecuado contacto térmico entre el intercambiador y el terreno, además de actuar de material sellador del pozo.

El relleno se realizará mediante tubería de inyección desde la base de la perforación. Esto permitirá reducir la cantidad de aire ocluido durante el llenado y mejorar las propiedades térmicas del sondeo. La mezcla del relleno se realizará mediante una planta de inyección, esta máquina posee de una mezcladora, un depósito posterior y una bomba para inyectar el relleno mezclado.

Los componentes de la mezcla se dosifican en el depósito mezclador, dotando de las mejores propiedades y de manera continua relleno al sondeo.

En caso de zonas de flujo de agua subterránea de alta permeabilidad, se procederá a realizar un empaque de gravas. Este empaque está formado por un anillo de grava calibrada de 3 a 6 mm. La grava debe ser silíceas y no calcáreas y su misión es dejar pasar el agua a través del interior del sondeo. Además, servirá de protección de las paredes del sondeo, impidiendo su derrumbamiento y evitando la pérdida del material de relleno o inyectado. Una vez sorteado la facies permeable se procederá ya a la inyección del relleno.

4.6.3. Tramo horizontal

Este tramo horizontal comprende la conexión de las sondas con la sala de máquinas donde se encontrarán las bombas de calor.

4.6.3.1. Tramo horizontal

Las tuberías del tramo horizontal, así como los fittings necesarios (codos, Tes, manguitos, etc.) para hacer las conexiones y la distribución del fluido geotérmico hasta la sala de calderas en la que se encuentra la bomba de calor y la bomba de circulación, serán de polietileno de alta densidad

PE100, de diámetro 40 mm, relación de diámetros SDR11 y presión nominal PN16.

Los tubos de las sondas geotérmicas deberán estar unidos a los tubos del tramo horizontal mediante electrofusión con piezas "Y" en la cabeza de la perforación. De esta forma, existirá un único tramo de impulsión y un único tramo de retorno por pozo captador. Así, en la boca de cada sondeo se conectarán dos piezas "Y" para unir en dos tubos de 40 mm de diámetro los cuatro tubos (2 de salida y 2 de retorno) de 32 mm. De cada sondeo saldrán, por tanto, dos tubos de 40 mm de diámetro.

Estos tubos discurrirán sobre un lecho de arena de 10 cm a una profundidad mínima de 70 cm en una zanja que permita una separación mínima entre ida y retorno de 30 cm aprox. en toda su longitud discurrirán sobre un lecho de arena de 10 cm a una profundidad mínima de 70 cm en una zanja que permita una separación mínima entre ida y retorno de 30 cm aprox. en toda su longitud hasta la entrada a colectores. Dicha zanja se cubrirá con otra capa de arena sobre tubos de 10 cm y sobre ella una capa de tierra de 30 cm. Sobre ella se colocará una banda plástica testigo que avise de la presencia de tubos geotérmicos en caso de excavación por último se rellenará con tierra sin grandes piedras que permitan un reparto correcto de las cargas.

4.6.3.2. Colector y distribuidor

El distribuidor (ida a sondeos) y el colector (retorno de la sala de máquinas) serán de polietileno de alta densidad PE100, tendrán un diámetro nominal de 125 mm y dispondrán de 18 salidas para tubos de polietileno de alta densidad de 40 mm de diámetro, coincidiendo con el de la tubería del tramo horizontal.

El distribuidor incluirá: válvulas de equilibrado, válvulas de bola en PVC, racor de 3/4" como grifo de llenado y vaciado y orificios de rosca de 1/2" para alojamiento de termómetro, purgadores y otros accesorios.

El colector incluirá: válvulas de bola en PVC, racor de 3/4" como grifo de llenado y vaciado y orificios de rosca de 1/2" para alojamiento de termómetro, purgadores y otros accesorios.

4.6.3.3. Bomba de circulación

Para el dimensionamiento de las bombas hidráulicas del intercambiador enterrado se han tenido en cuenta los dos parámetros que determinan su funcionamiento: la pérdida de carga asociada al circuito y sus componentes, y el caudal mínimo que permite en cada sondeo el cumplimiento del régimen turbulento.

Los valores de ambos parámetros calculados por bomba de calor y para el dimensionamiento de las bombas hidráulicas de son los siguientes:

- Pérdida de carga total del circuito: 32,5 m.c.a
- Caudal para cumplir régimen turbulento: 30 m³/h

A partir de estos valores, el modelo de bomba seleccionado ha sido el Wilo WILO VeroTwin-DP-E 50/150-4/2 de rotor seco de una etapa, con variador de frecuencia, con potencia nominal de 4 kW y apta para temperaturas desde -20°C hasta 120°C.

Se dispondrá de una bomba hidráulica por cada bomba de calor y el caudal de cada una de esas bombas será de 30 m³/h. Este valor se encuentra dentro del rango de caudales exigido por el fabricante de las bombas de calor seleccionadas anteriormente: entre 9 y 55 m³/h.

La bomba irá ubicada en la sala de calderas junto al resto de la maquinaria del sistema. Si fuera necesario, se evitará la transmisión de vibraciones a las tuberías mediante un sistema adecuado para tal fin.

Las especificaciones técnicas de cada uno de los materiales o maquinas usados en este apartado están recogidas en el ANEXO 2: MATERIALES Y MAQUINARIA.

4.6.4. Puesta en marcha

4.6.4.1. Introducción

Antes de poner en funcionamiento el sistema geotérmico se deben realizar una serie de pruebas y comprobaciones para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación. Los procesos a seguir son los siguientes:

- Limpieza del circuito de tuberías.
- Purga del aire de la instalación.
- Verificación de las condiciones de diseño (presión y caudal).
- Puesta en marcha de la bomba de calor y comprobación de parámetros.

4.6.4.2. Limpieza y purga del sistema

Antes de realizar la prueba de estanquidad y de efectuar el llenado definitivo, las redes de tuberías de agua deben ser limpiadas en su interior para eliminar cualquier tipo de residuo que se haya podido introducir durante el montaje (purgado de la instalación). [2]

Para realizar el purgado de la instalación, se introduce agua en el sistema de tuberías a una velocidad de 0.7 m/s (velocidad calculada en el ANEXO 1), eliminando por completo cualquier burbuja de aire atrapada. [2]

Puede que la bomba de calor de la instalación, por las prestaciones específicas de la instalación geotérmica, necesite conectarse a un grupo hidráulico externo (unidad de purga). El grupo hidráulico se empleará posteriormente para la introducción del fluido anticongelante. [2]

La unidad de purga es empleada para la eliminación de restos, de aire e incluso, si fuera necesario, del propio anticongelante. [2]

El sistema de purgado se conecta al bucle empleando mangueras flexibles y abrazaderas. La conexión es la propia de un bucle cerrado, de manera que el intercambiador de calor enterrado se limpie independientemente de la bomba de calor empleada en la instalación. [2]

4.6.4.3. Pruebas de estanquidad y resistencia de la instalación

Antes de proceder a la prueba de resistencia mecánica se realiza una prueba previa de estanquidad para detectar posibles fallos de continuidad de la red. Para ello se emplea generalmente agua a la misma presión llenado. La duración de la prueba es la necesaria para verificar la estanquidad de todas las uniones. [2]

Seguidamente, se realiza la prueba a presión de prueba que es equivalente a 1.5 veces la presión máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio, con un mínimo de 6 bar de presión. Del mismo modo que la prueba preliminar, la duración de la misma deberá ser aquella que permita verificar visualmente la resistencia estructural de los equipos y tuberías que están sometidos a la misma. [2]

La reparación de las fugas, si éstas han sido detectadas, se realiza desmontando la junta, accesorio o sección donde se haya originado la fuga y se substituye la parte defectuosa por material nuevo. El proceso se repite tantas veces como sea necesario, hasta que la red sea estanca. [2]

4.6.4.4. Puesta en marcha de la bomba de calor

Una vez la instalación haya sido limpiada, se haya agregado el anticongelante y el sistema haya sido presurizado se realiza la puesta en marcha de la bomba de calor. [2]

La instalación ha de ser probada en todos sus modos de funcionamiento durante el tiempo suficiente, comprobando temperaturas de ida y retorno del intercambiador enterrado, presiones, caudal en el circuito y potencia eléctrica absorbida. [2]

4.6.5. Mantenimiento

Las instalaciones de bomba de calor geotérmica (agua-agua) precisan de un mantenimiento menor a las convencionales (aire-agua) ya que la parte enterrada no necesita ningún tipo de mantenimiento. [2]

Las prescripciones de mantenimiento del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas a los Edificios) (RD 1027/ 2007) son de aplicación a todos los edificios de nueva construcción, rehabilitaciones y reformas de las instalaciones existentes. De igual modo, las prescripciones son obligatorias también para las instalaciones existentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Libros

- [1] IDAE, Informe Estadístico Energías Renovables, Madrid, 2017
<http://informeestadistico.idae.es/t2.htm>
- [2] IDAE, Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable, Madrid, 2010
- [3] D. G. M. CAM, Guía de La Energía Geotérmica, Madrid, 2008.
- [4] IDAE, Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado, Madrid: IDAE, 2012.
- [5] L. Trillo, Guía Técnica de Sondeos Geotérmicos Superficiales, 2009.
- [6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Plan de Energías Renovables 2011-2020. Madrid, 2011.
- [7] Álvarez Domínguez, Servando, et al. Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas, 2008.
- [8] Ruiz, Alfredo. Comparativa económica/ambiental de sistemas de climatización. 2014.

2. Trabajos de fin de grado

López Uriarte, Joaquín. TFG: Estudio de alternativas para el aprovechamiento geotérmico en el edificio Juan de la Cosa. 2015

Casajuana, Damià, et al. TFG: Diseño de una instalación de climatización utilizando energía geotérmica solar en un edificio de viviendas de Terrassa. Terrassa, 2010.

López Uzquiza, José Alfredo. TFG: Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía, 2017.

Pérez Ramírez de Arellano, Alejandro. TFG: Proyecto de Instalación Geotérmica De Muy Baja Entalpía Destinada a Refrigeración de Vivienda Unifamiliar. 2015

3. Webgrafía

- www.groen.es
- <http://geotermiaavanzada.blogspot.com>
- www.eficiencia-v.com
- <http://energiarenovablegeotermica.blogspot.com>
- www.sigpac.com
- <http://geotermiaonline.com/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-geotermia-para-despejar-dudas>
- https://www.vaillant.es/usuarios/te-ayudamos-a-elegir/tecnologias-disponibles/bombas-de-calor/geotermia/index.es_es.html

ANEXO 1: CÁLCULOS

1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se muestran las ecuaciones realizadas para calcular el dimensionamiento de los caudales que van a mover las bombas de calor y circulación, y que se han utilizado para su dimensionamiento.

2. CAUDAL POR INTERCAMBIADOR

Uno de los factores más importantes que rigen la transferencia térmica es la resistencia al flujo térmico a través de las diferentes 'capas' que se forman en el fluido dentro del tubo. La 'capa límite' interna se forma por el fluido moviéndose en contacto cercano con la superficie interna del tubo. La capa límite, la parte del fluido en contacto con el tubo, verá disminuida su velocidad ligeramente por una resistencia viscosa y el calor fluirá hacia (o desde) la pared del tubo mediante conducción y/o convección.

Conforme la velocidad del fluido se vea incrementada, se alcanzará un punto en el que el fluido empezará a formar turbulencias, punto en el que la capa límite se rompe y se separa de la pared del tubo, y el fluido se mezcla con la parte más interna del mismo, más alejada de la pared del tubo.

La velocidad a la que esto ocurre se ve influida por muchos factores, la viscosidad del fluido, la rugosidad de la pared del tubo, la forma del tubo, el tamaño del tubo, etc.

Para poder cuantificar la turbulencia (o falta de ésta) de un modo práctico, es habitual usar el número de Reynolds. El régimen turbulento se cumple para un número de Reynolds mayor a 4000. Este número de Reynolds dependerá de densidad del fluido, ρ , velocidad característica del fluido, V , diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido, D , y viscosidad dinámica del fluido, μ .

La fórmula de Reynolds es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

En la siguiente tabla se presentan los datos del anticongelante del proyecto que se han utilizado en el cálculo de la velocidad necesaria para cumplir el régimen turbulento según el número de Reynolds:

D	0.029 m
Re	4000
μ	$\rho \times v$
ρ	1.05 Kg/l
v	5 cps

$$\mu = \rho \times v = \frac{5 \text{ mm}^2}{s} * \frac{1 \text{ m}^2}{1000000 \text{ mm}^2} * \frac{1.05 \text{ Kg}}{l} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0.00525 \text{ Kg/ms}$$

$$V = \frac{Re * \mu}{\rho * D} = \frac{4000 * 0.00525 \text{ Kg/ms}}{1.05 * 10^3 \text{ Kg/m}^3 * 0.029 \text{ m}} = 0.689 \text{ m/s} \approx 0.7 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.7 \frac{m}{s} * \frac{\pi * 0.029^2}{4} = 0.0004623 \frac{m^3}{s} = 0.4623 \text{ l/s}$$

Este es el caudal por cada intercambiador de cada sondeo, como estamos usando doble intercambiador por sondeo, obtenemos un total de 36 intercambiadores, por tanto, el caudal que se necesita hacer circular por el sistema es:

$$Q = 0.4623 \text{ l/s} * 36 = 16.64 \text{ l/s} \approx 60 \text{ m}^3/h$$

ANEXO 2: MATERIALES Y MAQUINARIA

1. BOMBA DE CALOR



Una gama a la vanguardia de la innovación



Dynaciat ^{Power} series LG-LGP													
Modelos	Modo Frío (1)					Modo Calor (2)				Dimensiones (mm)			Peso (kg)
	P _f kW	P _a kW	SEER	Clase EUROVENT	SCOP	P _c kW	P _a kW	COP	Clase EUROVENT	Longitud	Anchura	Altura	
700V	218	46,6	4,68	B	4,3	265	57,6	4,25	B	2099	996	1869	1066
800V	252	53,3	4,73	B	4,37	286	66,3	4,28	B	2099	996	1869	1156
900V	289	62	4,66	B	4,35	326	76	4,36	B	2099	996	1869	1189
1000V	328	70,3	4,67	B	4,34	366	85,6	4,28	B	2099	996	1869	1312
1100V	357	76,5	4,67	B	4	396	93,2	4,25	B	2099	996	1869	1363
1200V	386	82,6	4,67	B	4,04	428	100,3	4,27	B	2099	996	1869	1425
1400V	466	96,6	4,70	B	4,01	495	113	4,38	B	2699	996	1867	1613
1600V	500	107	4,67	B	3,9	555	127	4,37	B	2699	996	1867	1708
1800V	584	120	4,86	B	4,32	650	145	4,48	A	3350	996	1970	2286
2100V	659	140	4,71	B	4,04	735	167	4,40	B	3350	996	1970	2376
2400V	716	161	4,65	C	3,89	823	190	4,33	B	3350	996	1970	2618

P_f Potencia frigorífica

P_a Potencia eléctrica total consumida

Condiciones normalizadas Eurovent

(1) Agua fría 12°C / 7°C Agua caliente 30°C / 35°C

(2) Entrada agua fría 10°C ciudad de agua del modo Frío Agua caliente 40°C / 45°C

EQUIPOS Dynaciat ^{Power}	LG-LGP
Interrupción de seguridad	■
Transformador de circuito de control	■
Numeración del cableado del cuadro eléctrico	■
Interfaz de comunicación RS485 ModBUS JBUS	■
Controlador del caudal de agua	■
Control maestro / esclavo de los equipos	■
Válvula de expansión electrónica (estándar 1.800V - 2.600V)	▲
Válvula Low Noise (revestimiento compresor silencioso)	▲
Válvula Xtra Low Noise (revestimiento compresor silencioso con aislamiento fónico)	▲
Válvulas de aislamiento aspiración compresor	▲
Agua glicolada baja temperatura 0 a -12°C	▲
Arranque progresivo soft start	▲
Controlador de fase (asíntico, asincrónico, síncrono y sub-4 enésimo)	■
Filtro de agua evaporador y condensador	■
Sopletes a activación manual	■
Manguitos flexibles hidráulicos en evaporador y condensador	■
Cuadro de control a distancia (mando remoto)	■
Tarjetas de relés controladas secas	■
Control multi-grupo MULTICONNECT	■
Pasarela LONWORKS	■
Pasarela ETHERNET	■

■ Suministrado de serie ▲ Opcional/módulo ■ Opcional suministrado en kit


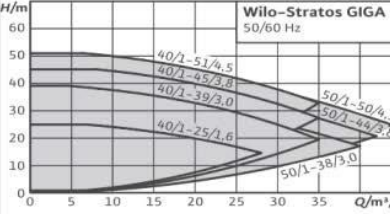

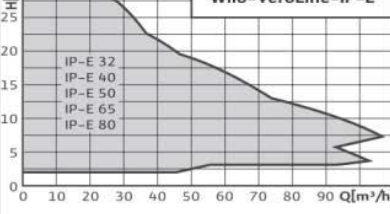

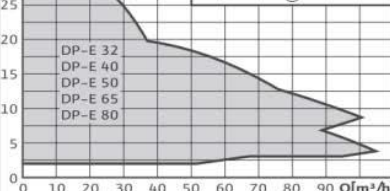

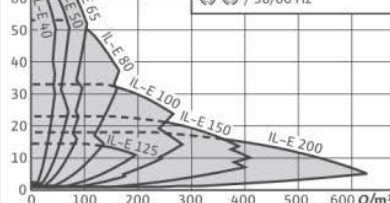

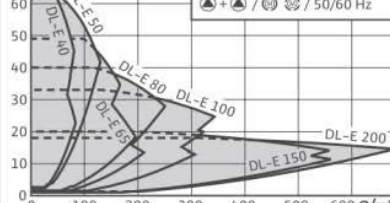
2. BOMBA DE CIRCULACIÓN

Bombas de rotor seco

Programa

Bombas inline electrónicas

wilo

<p>Ampliación de Gama</p>  <p>Pág.50</p>	 <p>Wilo-Stratos GIGA 50/60 Hz</p>	<p>Stratos GIGA</p> <ul style="list-style-type: none"> Bomba innovadora de alta eficiencia Supera el estándar IE4 establecido por la directiva IEC Tecnología de motor ECM (imán permanente) e hidráulica adaptada Rango de temperatura desde -20°C hasta 140°C Diseño compacto y peso reducido Modo de funcionamiento Δp-c (constante), Δp-v (variable) o PID Tecnología del botón rojo
<p>Ampliación de Gama</p>  <p>Pág.52</p>	 <p>Wilo-VeroLine-IP-E</p>	<p>VeroLine IP-E</p> <ul style="list-style-type: none"> Bomba simple inline electrónica Modo de funcionamiento Δp-c (constante), Δp-v (variable) o PID Tecnología del botón rojo Cierre mecánico libre de mantenimiento Rango de temperatura desde -10°C hasta 120°C Interface IR para comunicación inalámbrica con Monitor IR Opciones de comunicación mediante BACnet, Modbus o LON.
 <p>Pág.54</p>	 <p>Wilo-VeroTwin-DP-E</p>	<p>VeroTwin DP-E</p> <ul style="list-style-type: none"> Bomba doble inline electrónica Modo de funcionamiento Δp-c (constante), Δp-v (variable) o PID Tecnología del botón rojo Gestión de bomba doble integrada Rango de temperatura desde -10°C hasta 120°C Interface IR para comunicación inalámbrica con IR Monitor Opciones de comunicación mediante BACnet, Modbus o LON.
 <p>Pág.55</p>	 <p>Wilo-CronoLine-IL-E 50/60 Hz</p>	<p>CronoLine IL-E</p> <ul style="list-style-type: none"> Bomba simple inline electrónica Modo de funcionamiento Δp-c (constante), Δp-v (variable) o PID Tecnología del botón rojo Cierre mecánico libre de mantenimiento Rango de temperatura desde -20°C hasta 140°C Interface IR para comunicación inalámbrica con Monitor IR Opciones de comunicación mediante BACnet, Modbus o LON.
 <p>Pág.57</p>	 <p>Wilo-CronoTwin-DL-E 50/60 Hz</p>	<p>CronoTwin DL-E</p> <ul style="list-style-type: none"> Bomba doble inline electrónica Modo de funcionamiento Δp-c (constante), Δp-v (variable) o PID Tecnología del botón rojo Gestión de bomba doble integrada Rango de temperatura desde -20°C hasta 140°C Interface IR para comunicación inalámbrica con Monitor IR Opciones de comunicación mediante BACnet, Modbus o LON.

Calificación, Climatización y A.C.S.

Reservado el derecho a introducir modificaciones, para mayor información técnica consulten nuestros catálogos

45

Bombas electrónicas de rotor seco

Bombas dobles (calefacción y climatización)

Wilo VeroTwin DP-E



Wilo VeroTwin DP-E

Bomba electrónica inline doble de rotor seco de una etapa, para montaje directo en tubería

Claves del tipo

Ejemplo: **Wilo DP-E 40/160-4/2 R1**

DP-

Serie

E

Con variador de frecuencia integrado

40/

Diámetro de conexión (mm)

160-

Diámetro nominal de rodete (mm)

4/

Potencia del motor (kW)

2

Número de polos

R1

Sin sonda de presión diferencial



Información de producto:

- Presión nominal PN10
- Rango de temperatura desde -10°C hasta +120°C
- Modo de funcionamiento Δp -c (constante), Δp -v (variable), PID y DDC (0-10 V/0-20 mA)
- Tecnología del botón rojo
- Gestión de bomba doble integrada
- Ejecución con carcasa de la bomba PN16 disponible bajo consulta y sujeta a sobreprecio
- MEI=0.1

Grupo de producto - PG 3

Wilo VeroTwin DP-E, 3~400 V, 50 Hz (con sonda de presión diferencial)

Referencia	Modelo	Longitud (mm)	P ₂ (kW)	Precio €
2109777	DP-E 32/100-0.55/2	260	0.55	4.710,00
2109778	DP-E 32/110-0.75/2	260	0.75	4.790,00
2109779	DP-E 32/160-1.1/2	260	1.1	5.050,00
2131253	DP-E 40/115-0.55/2	250	0.55	4.750,00
2109781	DP-E 40/120-1.5/2	320	1.5	5.740,00
2109782	DP-E 40/130-2.2/2	320	2.2	6.820,00
2109783	DP-E 40/150-3/2	320	3	7.220,00
2109784	DP-E 40/160-4/2	320	4	7.540,00
2129111	DP-E 50/115-0.75/2	280	0.75	4.980,00
2109786	DP-E 50/130-2.2/2	340	2.2	6.860,00
2109787	DP-E 50/140-3/2	340	3	7.470,00
2109788	DP-E 50/150-4/2	340	4	7.790,00
2109789	DP-E 65/115-1.5/2	340	1.5	6.100,00
2133265	DP-E 65/120-3/2	340	3	7.700,00
2133266	DP-E 65/130-4/2	340	4	8.020,00
2109792	DP-E 80/115-2.2/2	360	2.2	7.050,00
2133267	DP-E 80/105-3/2	360	3	7.790,00
2133268	DP-E 80/110-4/2	360	4	8.190,00

Grupo de producto - PG 3

Wilo VeroTwin DP-E...R1, 3~400 V, 50 Hz (sin sonda de presión diferencial)

Referencia	Modelo	Longitud (mm)	P ₂ (kW)	Precio €	Correspondencia sonda
2109813	DP-E 32/100-0.55/2 R1	260	0.55	4.310,00	E
2109814	DP-E 32/110-0.75/2 R1	260	0.75	4.390,00	E
2109815	DP-E 32/160-1.1/2 R1	260	1.1	4.650,00	O
2131262	DP-E 40/115-0.55/2 R1	250	0.55	4.350,00	C
2109817	DP-E 40/120-1.5/2 R1	320	1.5	5.340,00	C
2109818	DP-E 40/130-2.2/2 R1	320	2.2	6.420,00	N
2109819	DP-E 40/150-3/2 R1	320	3	6.820,00	N
2109820	DP-E 40/160-4/2 R1	320	4	7.140,00	N
2129120	DP-E 50/115-0.75/2 R1	280	0.75	4.580,00	C
2109822	DP-E 50/130-2.2/2 R1	340	2.2	6.460,00	C
2109823	DP-E 50/140-3/2 R1	340	3	7.070,00	N
2109824	DP-E 50/150-4/2 R1	340	4	7.390,00	N
2109825	DP-E 65/115-1.5/2 R1	340	1.5	5.700,00	D
2133273	DP-E 65/120-3/2 R1	340	3	7.300,00	C
2133274	DP-E 65/130-4/2 R1	340	4	7.620,00	N
2109828	DP-E 80/115-2.2/2 R1	360	2.2	6.650,00	D
2133275	DP-E 80/105-3/2 R1	360	3	7.390,00	C
2133276	DP-E 80/110-4/2 R1	360	4	7.790,00	C

54 Reservado el derecho a introducir modificaciones, para mayor información técnica consulten nuestros catálogos

3. ANTICONGELANTE



Ficha técnica

Producto: GEOFLUX PG

GEOFLUX PG

Anticongelante concentrado exento de etilenglicol para instalaciones de Energía Geotérmica

Composición Química:

Líquido de coloración rojiza compuesto por al menos un 90% de propilenglicol al que se añaden aditivos anticorrosión, antiespumantes, biocidas e inhibidores de formación de depósitos.

Descripción del producto:

Geoflux PG es un anticongelante concentrado ideal para instalaciones geotérmicas, con protección antiheladas desde -50°C hasta -5°C. **Geoflux PG** ha sido formulado a base de propilenglicol, eliminando de su formulación productos como etilenglicol, aminas y fosfatos, lo que hace que **Geoflux PG** no sea perjudicial para la salud.

Aparte de las excelentes propiedades termofísicas de **Geoflux PG**, el formulado incluye aditivos especiales que actúan en distintos frentes específicos con el fin de asegurar la durabilidad y el correcto funcionamiento de la instalación geotérmica. Las propiedades más destacadas de **Geoflux PG** se enumeran a continuación:

- No corrosivo tanto en desgaste químico como galvánico.
- Protección contra microorganismos y especialmente "legionela".
- Inhibidor de formación de depósitos.
- Minimización de la cantidad de oxígeno ambiental y formación de burbujas.
- Minimización de la formación de burbujas.

Propiedades Físicas:

PROPIEDAD	VALOR	NORMA
Aspecto:	Líquido rojizo	
Densidad (20°C)	1,05 Kg/l	ASTM D 1122
Viscosidad (20°C)	4,9-5,0 cps	DIN 51562
Valor del pH (20°C)	7-9	ASTM D 1287
Reserva de alcalinidad*	>7	ASTM D 1121
Punto de ebullición	<175°C	ASTM D 1120
Punto de congelación	<-50 °C	ASTM D 1177
Contenido de agua	<10%	DIN 51 777

* Después de tres meses (Junio-Agosto) expuesto de forma discontinua a la acción de la luz solar en frasco de vidrio transparente.

Estos datos corresponden a los valores medios de producción. No tienen la consideración de una especificación del producto. Los valores característicos pormenorizados forman parte de una especificación del producto independiente.

Geoflux PG es un concentrado que requiere la adición de **AGUA DESTILADA** para ajustar sus temperaturas de trabajo. No obstante, se recomienda utilizar concentraciones de **Geoflux PG** entre 30% y 60% para garantizar las propiedades del producto.

Reserva de Responsabilidad: Debido a la gran variedad de factores que pueden influir en la transformación y aplicación de nuestros productos, la información facilitada no entra en el ámbito de la responsabilidad de llevar a cabo sus propios controles y ensayos. Asimismo, nuestras indicaciones no constituyen una garantía fehaciente vinculante en cuanto a la existencia de determinadas propiedades ni tampoco respecto de la idoneidad para un uso específico. La responsabilidad del uso de nuestros productos observará las reglamentos y normativas correspondientes. Fecha revisión Agosto 2012.

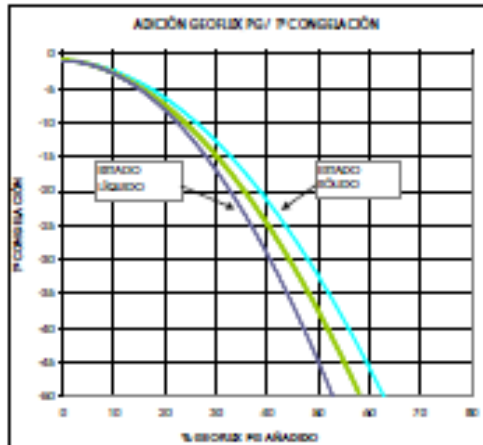
Página 1 de 1



Ficha técnica

Producto: GEOLUX PG

La siguiente gráfica muestra la temperatura a la que Geoflux PG se muestra en estado sólido y líquido, además se puede ver la dilución de producto recomendada por Quimacer para las distintas temperaturas de trabajo.



Tª CONGELACIÓN (°C)	% VOLUMEN RECOMENDADO (LITROS) GEOLUX PG AÑADIDO
0	0
-5	13
-10	23
-15	30
-20	36
-25	42
-30	45
-35	47
-40	52
-45	55
-50	58
COLOR EN GRÁFICA	

Propiedades Químicas:

Geoflux PG es un líquido rojo y de olor tenue compuesto por propilenglicol, y exento de productos perjudiciales para la salud.

El paquete de aditivos del producto se ha reforzado con:

- Inhibidores de corrosión que aportan una protección duradera contra la corrosión y la degradación, tanto de partes metálicas como de otras partes de carácter plástico o polimérico
- Inhibidores de formación de cualquier tipo de depósito.
- Biocidas con el fin de evitar la proliferación de bacterias en situaciones de parada o de funcionamiento inadecuado.
- Agentes secuestrantes de oxígeno para disminuir en lo posible la concentración de éste en el sistema cerrado de circulación secundaria.

Geoflux PG garantiza un rendimiento del sistema de energía geotérmica elevado y uniforme puesto que asegura la estabilidad de todos los sistemas mecánicos presentes en el circuito.

Geoflux PG no ataca a las juntas típicamente utilizadas usadas en instalaciones geotérmicas. La información siguiente ha sido elaborada en base a ensayos propios en Quimacer S.L. e investigación bibliográfica.

Reserva de Responsabilidad: Debido a la gran variedad de factores que pueden influir en la transformación y aplicación de nuestros productos, la información facilitada no exime al usuario de la responsabilidad de llevar a cabo sus propios controles y ensayos. Asimismo, nuestra indicaciones no constituyen una garantía judicialmente vinculante respecto de la existencia de determinadas propiedades ni tampoco respecto de la idoneidad para un uso específico. La responsabilidad del empleo de nuestros productos observará las reglamentaciones y normativas correspondientes. Fecha revisión Agosto 2012.

Página 2 de 4

4. TUBERIA PE100

6. PROGRAMA DE

6.1. TUBERÍAS

TUYPER GRUPO ofrece una amplia gama de tuberías de polietileno para diferentes aplicaciones:

GAMA DE TUBERÍAS PARA CONDUCCIONES DE AGUA A PRESIÓN Y SANEAMIENTO CON PRESIÓN

Fabricadas según normas UNE EN 12201 (BANDA AZUL) y UNE EN 13244 (BANDA MARRÓN)

PRESIÓN (bar)	PE-100 espesor (mm)						PE-80 espesor (mm)			PE-40 espesor (mm)			
	4	6	10	12,5	16	20	25	3	10	16	4	6	10
20					2,0	2,3	3,0			2,3		3,0	3,0
25					2,3	3,0	3,5		2,0	2,0		3,3	2,5
32			2,0		3,0	3,6	4,4		2,6	2,6	2,0	3,0	4,4
40		2,8			3,7	4,5	5,5		3,0	4,5	2,8	3,7	5,5
50		3,0			4,4	5,6	6,9		3,7	5,6	3,0	4,4	6,9
63		3,8			5,8	7,1	8,6		4,7	7,1	3,8	5,8	8,6
75		4,5			6,8	8,4	10,1		5,6	8,4	4,5	6,8	10,1
90		5,8			8,2	10,1	12,2		6,7	10,1	5,8	8,2	12,2
110	4,2	6,6	8,1		10,0	12,3	15,1		8,1	12,3			
125	4,8	7,8	9,2		11,6	14,0	17,1		9,2	14,0			
140	5,6	8,3	10,1		12,7	15,7	19,3		10,1	15,7			
160	6,2	9,3	11,8		14,6	17,9	21,9	7,7	11,8	17,9			
180	6,9	10,7	13,3		16,4	20,1	24,6	8,6	13,3	20,1			
200	7,7	11,8	14,7		18,2	22,4	27,4	9,6	14,7	22,4			
225	8,6	13,4	16,6		20,5	25,2	30,8	10,8	16,6	25,2			
250	9,6	14,8	18,4		22,7	27,9	34,2	11,9	18,4	27,9			
280	10,7	16,6	20,5		25,4	31,3	38,3	13,4	20,5	31,3			
315	11,7	18,3	22,3		28,6	35,2	43,1	15,0	22,3	35,2			
355		21,6	26,1		32,2	39,7		16,9	26,1				
400	14,8	23,3	28,4		36,3	44,7		19,1	28,4				
450		27,2	36,7		40,9								
500	12,3	18,2	25,3		45,4								
560		21,4	31,3		50,8								
630	15,4	24,1	37,4		57,2								
710		27,2	42,1										
800		31,4	47,4										
900		34,8	51,3										
1.000		38,2	56,3										

Para otros diámetros y presiones por favor consultar.
Puede descargar todas las certificaciones de TUYPER GRUPO en su página web: www.tuypergrupo.com

PRESIÓN PE

5. COLECTOR MODULAR REAHU

9. COLECTOR MODULAR RAUGEO

RAUGEO Colector modular premontado Ida y Retorno

Conjunto completo colector impulsión+retorno montado y probado,
material reforzado en fibra de vidrio apto para calor y frío (-20° a +70°C)
con cámara de aire para mejorar aislamiento térmico.
Separación entre circuitos 100mm.
Módulo impulsión con válvulas de corte integradas.
Módulo retorno con caudalímetros ajustables y capuchón de protección.
Conexión principal en Rp 1-1/4" (DN40) y Rp 2" (DN60), y purgador
manual 3/8". Placa final en latón, tomillería premontada.
Aprobado para presiones de trabajo 6 bar; presión de prueba 10 bar.



RAUGEO Colector modular DN 40 (1-1/4")

Artículo	Var	Número conexiones	Diámetro interior	Peso [kg]	Unidad suministro
354359	001	2	40 mm	4,2	1
354369	001	3	40 mm	5,2	1
354379	001	4	40 mm	6,2	1
354389	001	5	40 mm	7,3	1
354399	001	6	40 mm	8,3	1
354409	001	7	40 mm	9,3	1
354419	001	8	40 mm	10,3	1
354429	001	9	40 mm	11,4	1
354439	001	10	40 mm	12,4	1
354449	001	11	40 mm	13,4	1
354459	001	12	40 mm	14,5	1

RAUGEO Colector modular DN 60 (2")

Artículo	Var	Número conexiones	Diámetro interior	Peso [kg]	Unidad suministro
354469	001*	2	60 mm	5,9	1
354479	001*	3	60 mm	7,0	1
354489	001*	4	60 mm	8,3	1
354499	001*	5	60 mm	9,4	1
354509	001*	6	60 mm	10,7	1
354519	001*	7	60 mm	12,0	1
354529	001*	8	60 mm	13,1	1
354539	001*	9	60 mm	14,3	1
354549	001*	10	60 mm	15,5	1
354559	001*	11	60 mm	16,7	1
354569	001*	12	60 mm	17,7	1

*a consultar

RAUGEO Colector modular Set fijación a pared

Para la fijación a pared del colector modular.

Entrega:

- 2 conjuntos soporte
- 4 abrazaderas para colector 40 mm (75-80mm)
- 4 abrazaderas para colector 60 mm (101-108mm)
- Material diverso (tornillos, tuercas, clavijas)



Artículo	Var	Diámetro interior	Peso [kg]	Unidad suministro
354629	001	40 mm	0,7	1
354699	001*	60 mm	0,7	1

*a consultar

6. UNIONES EN "Y" Y DISTANCIADORES REAHU

Racor en Y PE RAUGEO

Para la inserción de dos líneas de impulsión y retorno de la sonda a la perforación. La derivación en Y está fabricado en PE 100 SDR 11 según DIN 8075.
Soldadura de la derivación con maguito electrosoldable.



Artículo	Var	Dimensiones [mm]	Longitud [mm]	Suministro [ud]
350499	001	32-32-40	190	2
350509	001	40-40-50	210	2

Distanciador RAUGEO

Para asegurar una separación uniforme entre los tubos de la sonda dentro del sondeo, dejando un intersticio para el tubo de relleno. De esta forma se evita el contacto directo entre los tubos de la sonda y, con ello, una pérdida térmica.



Artículo	Var	d x s [mm]	Diámetro exterior incl.tubería [mm]	Orificio interno [mm]	Suministro [ud]
222859	001	32 x 2,9	117	45	10
228429	001	40 x 3,7	134	50	10

7. MANGUITOS SOLDABLES REHAU

Válido para sondas RAUGEO, Collect, Helix* y Pilotes Energéticos en PE y PE-Xa

Todos los artículos de este capítulo están disponibles en dimensiones mayores bajo pedido.

Material: PE 100, PN 16

Factor de seguridad 1,25

Fluidos: Aire y agua

Temperatura	Presión	Vida útil
20°C	16,0 bar	50 años
30°C	12,8 bar	50 años
40°C	9,6 bar	50 años
50°C	6,4 bar	50 años

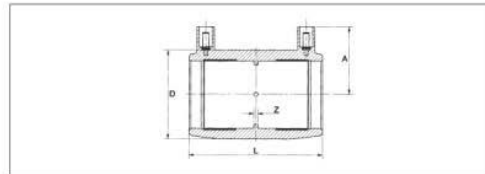
Manguito electrosoldable REHAU

Accesorio electrosoldable REHAU con resistencia interior para la soldadura de tubos de PE-Xa y de tubos de PE 63, PE 80, PE100

Material: PE 100, negro, estabilizado frente a los rayos UV

Presión nominal: PN 16

No es apto para tubos con capa barrera EVAL



Artículo	Var	Dimensiones	L [mm]	D [mm]	A [mm]	Z [mm]	Peso [kg/ud]	Unidad suministro
245002	001	20	76	36	35	2	0,050	1
245012	001	25	71	36	38	2	0,040	1
245022	001	32	80	44	41	2	0,065	1
245032	001	40	90	55	45	3	0,100	1
245042	001	50	100	68	52	3	0,152	1
245052	001	63	118	82	58	3	0,240	1

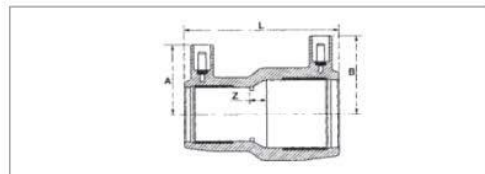
Manguito reductor electrosoldable REHAU

Accesorio electrosoldable REHAU con resistencia interior para la soldadura de tubos de PE-Xa y de tubos de PE 63, PE 80, PE100

Material: PE 100, negro, estabilizado frente a los rayos UV

Presión nominal: PN 16

No es apto para tubos con capa barrera EVAL



Artículo	Var	Dimensiones d1 - d2	L [mm]	A [mm]	B [mm]	Z [mm]	Peso [kg/ud]	Unidad suministro
245242	001	25-20	71	36	36	4	0,065	1
245252	001	32-20	80	36	42	7	0,060	1
245262	001	32-25	80	39	42	7	0,050	1
289149	001	40-25	90	39	47	6	0,093	1
245272	001	40-32	90	42	47	8	0,093	1
289151	001	50-25	100	42	47	7	0,112	1
245282	001	50-32	98	44	52	11	0,118	1
245292	001	50-40	98	48	52	6	0,136	1
245302	001	63-32	118	44	58	22	0,178	1
245312	001	63-40	118	48	58	17	0,190	1
245322	001	63-50	118	53	58	12	0,224	1

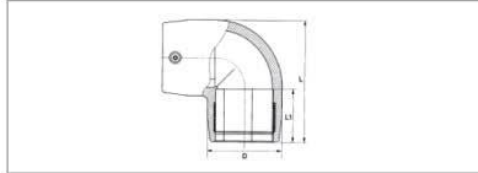
Codo 90° electrosoldable REHAU

Accesorio electrosoldable REHAU con resistencia interior para la soldadura de tubos de PE-Xa y de tubos de PE 63, PE 80, PE100

Material: PE 100, negro, estabilizado frente a los rayos UV

Presión nominal: PN 16

No es apto para tubos con capa barrera EVAL



Artículo	Var	Dimensiones	L [mm]	L ₁ [mm]	D [mm]	Peso [kg/ud]	Unidad suministro
245642	001	20	66	35	36	0,066	1
245652	001	25	66	35	36	0,128	1
245662	001	32	79	39	44	0,090	1
245672	001	40	93	44	56	0,145	1
245682	001	50	109	49	68	0,221	1
245692	001	63	132	58	82	0,333	1

Pieza en T electrosoldable REHAU, igual

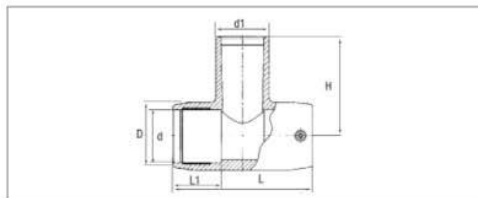
Accesorio electrosoldable REHAU con resistencia interior para la soldadura de tubos de PE-Xa y de tubos de PE 63, PE 80, PE100

Se precisa un manguito electrosoldable adicional de la medida correspondiente.

Material: PE 100, negro, estabilizado frente a los rayos UV

Presión nominal: PN 16

No es apto para tubos con capa barrera EVAL



Artículo	Var	Dimensiones d - d1 - d	L [mm]	L ₁ [mm]	D [mm]	H [mm]	Peso [kg/ud]	Unidad suministro
224829	001	25 - 25 - 25	104	40	44	43	0,140	1
245372	001	32 - 32 - 32	104	39	44	74	0,095	1
245382	001	40 - 40 - 40	121	44	56	90	0,169	1
245392	001	50 - 50 - 50	139	49	68	102	0,267	1
245402	001	63 - 63 - 63	166	58	82	119	0,467	1

Pieza en T electrosoldable REHAU, derivación ensanchada

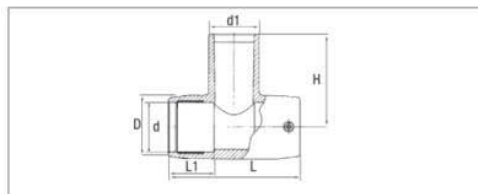
Accesorio electrosoldable REHAU con resistencia interior para la soldadura de tubos de PE-Xa y de tubos de PE 63, PE 80, PE100

Se precisa un manguito electrosoldable adicional de la medida correspondiente.

Material: PE 100, negro, estabilizado frente a los rayos UV

Presión nominal: PN 16

No es apto para tubos con capa barrera EVAL



Artículo	Var	Dimensiones d - d1 - d	L [mm]	L ₁ [mm]	D [mm]	H [mm]	Peso [kg/ud]	Unidad suministro
245352	001	20 - 32 - 20	98	35	38	78	0,137	1
245362	001	25 - 32 - 25	98	35	38	78	0,140	1

8. MORTERO DE RELLENO DE LOS SONDEOS

ENERGROUT



HD 2.1



DESCRIPCIÓN

Mortero pre-dosificado denso de alta conductividad térmica y reología favorable para su inyección. Especialmente diseñado para aplicaciones geotérmicas.

COMPOSICIÓN

Es una mezcla de arenas de sílice con una curva granulométrica ideal con tamaño máximo de partículas < 0,6 mm y cemento sulfo-resistente, mejorado con aditivos naturales y sintéticos para conferir las propiedades deseadas.

CARACTERÍSTICAS

- ▶ Alta conductividad térmica.
- ▶ Resistente a los sulfatos.
- ▶ Elevada fluidez.
- ▶ Fuerte cohesión.
- ▶ Alta densidad.
- ▶ Elevada tensión superficial.
- ▶ Preparación y aplicación sencillas.
- ▶ Inocuo para el medio ambiente.



PROPIEDADES

El mortero geotérmico EnergROUT HD 2.1 permite una excelente aplicación en obra, con una gran facilidad de amasado y de bombeo, sin presentar disgregaciones ni sedimentación. Sus características tixotrópicas, densidad, reología y conductividad térmica permiten ejecutar con garantías y de forma adecuada rellenos inyectados a gran profundidad incluso en condiciones geológicas adversas optimizando así el rendimiento térmico de las instalaciones.

MODO DE EMPLEO

- 1./ La lechada mejorada con aditivos y adiciones especiales se suministra lista para su empleo.
- 2./ Introducir el agua de amasado indicada en la batidora y luego añadir el contenido del saco de una forma gradual y controlada.
- 3./ El tiempo de amasado estará entre 4 y 7 minutos, según el tipo de máquina empleada. Cuando la lechada así confeccionada presente un aspecto uniforme y sin grumos se trasladará el contenido al tanque de homogenización que alimenta la bomba.



DATOS TÉCNICOS

Agua de amasado por saco	10,75 litros
Dosificación por m³	510 l. de agua y 1.250 kg de HD 2.1
Densidad del mortero	1,76 TN/m³
Conductividad Térmica	2,1 W/mK
Fluidez cono de Marsh	65 seg
Tamaño máximo de partículas	< 0,6 mm
Presentación	56 sacos de 25 kg en palets (1.400 kg)
Tiempo de aplicación	90 min según temperaturas

Suministro

Nuestros productos están disponibles en varios formatos para adaptarse a sus necesidades de consumo, manutención y ahorro de espacio.

Formatos de producto



Sacos
De 25 kg. de papel doble lámina sobre palets de hasta 1.400 kg.



Big Bag
Hasta 1.500 kg. suministrado sobre palet para facilitar su transporte y manejo.



Granel
Silos de gravedad o presión de hasta 32 toneladas, provistos de amasadoras. Suministro en camiones cisterna.

Precauciones de uso

Evitar las nubes de polvo durante el uso y manipular en ambiente adecuadamente ventilado. No es recomendable apilar más de dos palets.

Protección individual y primeros auxilios



Evita el contacto con los ojos llevando gafas. En caso de contacto, lavar inmediatamente con agua limpia.



Evita la inhalación llevando mascarilla. En caso de inhalación, salga a un sitio aireado.



Evita el contacto prolongado con la piel llevando guantes. En caso de irritación, lavar con agua.

Para más información, consulte las fichas de datos de seguridad en www.holcim.es

Caducidad y almacenamiento

Seis meses a partir de la fecha de fabricación, en su envase original cerrado, en lugar seco y cubierto, protegido de la humedad directa y de las heladas.

EnergROUT Geotherm, S.L.

C/ Alfredo Marquerie, 49. 1F
28034 Madrid
Tel. 911 123 978
comercial@energROUT.com

Holcim Morteros, S.A.
www.holcim.es

Fábrica de Madrid
C/ de las Forjas, 1
28052 Vicálvaro (Madrid)
Tel. 913 682 330
Fax 913 682 350

Fábrica de Alicante
C/ Partida Fontcalent, s/n
03113 Alicante
Tel. 965 112 330
Fax 965 112 767

Fábrica de Valencia
C/ Riu Xuquer, s/n
46930 Quart de Poblet
(Valencia)
Tel. 961 921 030
Fax 961 921 099

Fábrica de Málaga
Paraje Maldonado, s/n
29110 Monda
Tel. 952 457 040
Fax 952 457 355

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO Y MEDICIONES

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CAPÍTULO 01 – CAMINOS LABORATORIOS

SUBCAPÍTULO 01 – Tramo Horizontal

Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
01.01.1	Suministro e instalación de distribuidor de polietileno de alta densidad PE100, con 18 salidas para tubos de polietileno de 40 mm, dotado de válvulas de equilibrado, válvulas de bola en PVC, con racor de ¾" como grifo de llenado y vaciado, con 3 orificios con rosca de ½" para alojamiento de termómetro, purgadores y otros accesorios, totalmente montado e instalado según especificaciones.	Ud	2,00	2.850,00	5.700,00
01.01.3	Bomba circuladora con variador de frecuencia (electrónica) inline simple de rotor seco de una etapa, para montaje directo en tubería. Modelo Wilo VeroTwin DE-P (o similar), con potencia nominal del motor de 4 kW, apta para temperaturas desde -10 hasta 120°C, motor resistente al bloqueo, 2900 r.p.m. nominales, 2 polos, alimentación trifásica 400V/50Hz, protección IP 55, aislamiento clase F. Incluso puente de manómetros formado por manómetro, válvulas de esfera y tubería de cobre; p/p de elementos de montaje; caja de conexiones eléctricas con condensador y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.	Ud	4,00	7.390,00	29.560,00
01.01.4	Suministro e instalación de tubería para circuito de conexión horizontal entre distribuidor/colector y sondeos, de polietileno de alta densidad PE100, diámetro nominal 40 mm, relación de diámetros SDR11 y PN16.	m	2.900,00	2,79	8.091,00
01.01.5	Excavación en zanja sobre terreno sin clasificar por medios mecánicos, retirada de los materiales y carga a camión, para conexión de sondeos geotérmicos, con cama y manta de arena, para tendido de tuberías de conexión horizontal y marcado por encima de tramos.	m3	500,00	12,31	6.155,00
01.01.6	Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad PE100 para circuito entre el colector/distribuidor y las bombas de calor geotérmicas, diámetro nominal 63 mm, PN16, con coquilla flexible de espuma elastomérica de espesor 30 mm. Totalmente montada y probada.	m	10	56,36	563,60
01.01.7	Suministro e instalación de manguito electrosoldable para soldadura termoeléctrica de tubería de polietileno (PE), diámetro nominal 40 mm, relación de diámetros SDR11 y PN16.	Ud	36,00	12,68	456,48
01.01.8	Suministro e instalación de manguito electrosoldable para soldadura termoeléctrica de tubería de polietileno (PE), diámetro nominal 32 mm, relación de diámetros SDR11 y PN16.	Ud	72,00	12,51	900,72
01.01.9	Pieza Y de unión doble de diámetro 32 mm que se transforma a unión única de diámetro 40mm, para conexión entre tramo horizontal y sondeo (2x32-40).	Ud	36,00	21,42	771,12
01.01.10	Suministro e instalación de los componentes necesarios para la completa instalación del sistema de cebado, incluidas las pruebas posteriores y los elementos necesarios para su colocación.	Ud	1,00	1.420,00	1.420,00
01.01.11	Suministro e instalación de válvula de esfera con diámetros entre ½" y 2"; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	Ud	72,,00	16,00	1.152,00
01.01.12	Suministro e instalación de válvula de llenado con diámetros entre ½" y 2"; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	Ud	2,00	14,30	28,60
01.01.13	Suministro e instalación de válvula de equilibrado con diámetros entre ½" y 2"; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios	Ud	18,00	120,00	2.160,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CAPÍTULO 01 – CAMINOS LABORATORIOS

SUBCAPÍTULO 01 – Tramo Horizontal

Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
01.01.14	para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada. Suministro e instalación de válvula antirretorno con diámetros entre ½" y 2";, incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	Ud	2,00	13,00	26,00
01.01.15	Suministro e instalación de un vaso de expansión tipo 50 AMR (o similar), con conexión de 1" y una presión máxima de 10 bar.	Ud	2,00	159,49	318,98
01.01.16	Suministro e instalación de manómetro, incluidos los elementos necesarios para su instalación, rosca entre 1/8" y ½", y presión entre 0 y 25 bar.	Ud	2,00	5,30	10,60
01.01.17	Suministro e instalación de termómetros, con escala de temperaturas de 120°C y una escala de presión de 0-6 Kg/cm2. Incluidos los elementos necesarios para su instalación.	Ud	18,00	36,00	648,00
01.01.18	Suministro e instalación de purgador automático de discos de rosca ½". Se incluyen los elementos necesarios para su montaje.	Ud	2,00	8,19	1.420,00
01.01.19	Suministro e instalación de bloque de seguridad, con cuerpo de latón, formado por válvula de seguridad tarada a 3 bar, purgador automático de aire con válvula de retención, manómetro con escala de 0 a 4 bar y conexión hembra de 1" de diámetro. Se incluyen los elementos necesarios para su montaje.	Ud	2,00	71,89	143,78
01.01.20	Bomba de calor reversible DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V, con una potencia calorífica de 366 kW y una potencia frigorífica de 328 kW y un COP de 3,95. Con un caudal de agua mínimo de 9m3/h y un caudal máximo de 55m3/h.	Ud	2,00	13.555,00	27.110,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS

CAPÍTULO 01 – CAMINOS LABORATORIOS

SUBCAPÍTULO 02 – Sondeos Verticales

Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
01.02.1	Suministro e instalación de sonda geotérmica doble, formada por tubos de polietileno de alta densidad pe100 metros de longitud, de diámetro nominal 32 mm, incluyendo peso en pie de sonda.	Ud	18,00	1.000,00	18.000,00
01.02.2	Ejecución de perforación en suelo no cohesivo, de diámetro 140 mm y profundidad 100 m para instalación de sondas geotérmicas. Incluido emplazamiento y puesta en obra de máquina de perforación y traslado de máquina entre emplazamiento de sondeos.	m	2.318,00	22,00	50.996,00
01.02.3	Suministro e instalación de tubo para inyección de relleno, formado por tubo de polietileno de alta densidad, diámetro 32 mm, para la inyección del material de relleno desde la base inferior de la perforación.	Ud	18,00	156	2.808,00
01.02.4	Fabricación e inyección de material de relleno geotérmico, ejecutado según especificaciones.	m	2.318,00	8,00	18.544,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS
CAPÍTULO 01 – CAMINOS LABORATORIOS
SUBCAPÍTULO 03 – Fluido Caloportador

Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
01.03.1	Anticongelante (etilenglicol) para llenado de circuito del campo de sondas.		4.500,00	4,00	18.000,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS

CAPÍTULO 02 – CAMINOS AULAS

SUBCAPÍTULO 01 – Tramo Horizontal

Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
02.01.1	Suministro e instalación de distribuidor de polietileno de alta densidad PE100, con 18 salidas para tubos de polietileno de 40 mm, dotado de válvulas de equilibrado, válvulas de bola en PVC, con racor de ¾" como grifo de llenado y vaciado, con 3 orificios con rosca de ½" para alojamiento de termómetro, purgadores y otros accesorios, totalmente montado e instalado según especificaciones.	Ud	2,00	2.850,00	5.700,00
02.01.3	Bomba circuladora con variador de frecuencia (electrónica) inline simple de rotor seco de una etapa, para montaje directo en tubería. Modelo Wilo VeroTwin DE-P (o similar), con potencia nominal del motor de 4 kW, apta para temperaturas desde -10 hasta 120°C, motor resistente al bloqueo, 2900 r.p.m. nominales, 2 polos, alimentación trifásica 400V/50Hz, protección IP 55, aislamiento clase F. Incluso puente de manómetros formado por manómetro, válvulas de esfera y tubería de cobre; p/p de elementos de montaje; caja de conexiones eléctricas con condensador y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.	Ud	4,00	7.390,00	29.560,00
02.01.4	Suministro e instalación de tubería para circuito de conexión horizontal entre distribuidor/colector y sondeos, de polietileno de alta densidad PE100, diámetro nominal 40 mm, relación de diámetros SDR11 y PN16.	m	4.700,00	2,79	13.113,00
02.01.5	Excavación en zanja sobre terreno sin clasificar por medios mecánicos, retirada de los materiales y carga a camión, para conexión de sondeos geotérmicos, con cama y manta de arena, para tendido de tuberías de conexión horizontal y marcado por encima de tramos.	m3	500,00	12,31	6.155,00
02.01.6	Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad PE100 para circuito entre el colector/distribuidor y las bombas de calor geotérmicas, diámetro nominal 63 mm, PN16, con coquilla flexible de espuma elastomérica de espesor 30 mm. Totalmente montada y probada.	m	10	56,36	563,60
02.01.7	Suministro e instalación de manguito electrosoldable para soldadura termoeléctrica de tubería de polietileno (PE), diámetro nominal 40 mm, relación de diámetros SDR11 y PN16.	Ud	36,00	12,68	456,48
02.01.8	Suministro e instalación de manguito electrosoldable para soldadura termoeléctrica de tubería de polietileno (PE), diámetro nominal 32 mm, relación de diámetros SDR11 y PN16.	Ud	72,00	12,51	900,72
02.01.9	Pieza Y de unión doble de diámetro 32 mm que se transforma a unión única de diámetro 40mm, para conexión entre tramo horizontal y sondeo (2x32-40).	Ud	36,00	21,42	771,12
02.01.10	Suministro e instalación de los componentes necesarios para la completa instalación del sistema de cebado, incluidas las pruebas posteriores y los elementos necesarios para su colocación.	Ud	1,00	1.420,00	1.420,00
02.01.11	Suministro e instalación de válvula de esfera con diámetros entre ½" y 2"; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	Ud	72,,00	16,00	1.152,00
02.01.12	Suministro e instalación de válvula de llenado con diámetros entre ½" y 2"; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	Ud	2,00	14,30	28,60
02.01.13	Suministro e instalación de válvula de equilibrado con diámetros entre ½" y 2"; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios	Ud	18,00	120,00	2.160,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS

CAPÍTULO 02 – CAMINOS AULAS

SUBCAPÍTULO 01 – Tramo Horizontal

Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
02.01.14	para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada. Suministro e instalación de válvula antirretorno con diámetros entre ½" y 2";, incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	Ud	2,00	13,00	26,00
02.01.15	Suministro e instalación de un vaso de expansión tipo 50 AMR (o similar), con conexión de 1" y una presión máxima de 10 bar.	Ud	2,00	159,49	318,98
02.01.16	Suministro e instalación de manómetro, incluidos los elementos necesarios para su instalación, rosca entre 1/8" y ½", y presión entre 0 y 25 bar.	Ud	2,00	5,30	10,60
02.01.17	Suministro e instalación de termómetros, con escala de temperaturas de 120°C y una escala de presión de 0-6 Kg/cm2. Incluidos los elementos necesarios para su instalación.	Ud	18,00	36,00	648,00
02.01.18	Suministro e instalación de purgador automático de discos de rosca ½". Se incluyen los elementos necesarios para su montaje.	Ud	2,00	8,19	1.420,00
02.01.19	Suministro e instalación de bloque de seguridad, con cuerpo de latón, formado por válvula de seguridad tarada a 3 bar, purgador automático de aire con válvula de retención, manómetro con escala de 0 a 4 bar y conexión hembra de 1" de diámetro. Se incluyen los elementos necesarios para su montaje.	Ud	2,00	71,89	143,78
02.01.20	Bomba de calor reversible DYNACIAT Power series LG-LGP 1000V, con una potencia calorífica de 366 kW y una potencia frigorífica de 328 kW y un COP de 3,95. Con un caudal de agua mínimo de 9m3/h y un caudal máximo de 55m3/h.	Ud	2,00	13.555,00	27.110,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS

CAPÍTULO 02 – CAMINOS AULAS

SUBCAPÍTULO 02 – Sondeos Verticales

Código	Resumen	Ud.	Cantidad	Precio	Importe
02.02.1	Suministro e instalación de sonda geotérmica doble, formada por tubos de polietileno de alta densidad pe100 metros de longitud, de diámetro nominal 32 mm, incluyendo peso en pie de sonda.	Ud.	18,00	1.000,00	18.000,00
02.02.2	Ejecución de perforación en suelo no cohesivo, de diámetro 140 mm y profundidad 100 m para instalación de sondas geotérmicas. Incluido emplazamiento y puesta en obra de máquina de perforación y traslado de máquina entre emplazamiento de sondeos.	m	2.318,00	22,00	50.996,00
02.02.3	Suministro e instalación de tubo para inyección de relleno, formado por tubo de polietileno de alta densidad, diámetro 32 mm, para la inyección del material de relleno desde la base inferior de la perforación.	Ud.	18,00	156	2.808,00
02.02.4	Fabricación e inyección de material de relleno geotérmico, ejecutado según especificaciones.	m	2.318,00	8,00	18.544,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS
CAPÍTULO 02 – CAMINOS AULAS
SUBCAPÍTULO 03 – Fluido Caloportador

Código	Resumen	Ud.	Cantidad	Precio	Importe
02.03.1	Anticongelante (etilenglicol) para llenado de circuito del campo de sondas.		6.000,00	4,00	24.000,0

2. RESUMEN DE PRESUPUESTO

PRESUPUESTO Y MEDICIONES – CAMINOS LABORATORIOS Y CAMINOS AULAS

RESUMEN DE PRESUPUESTO

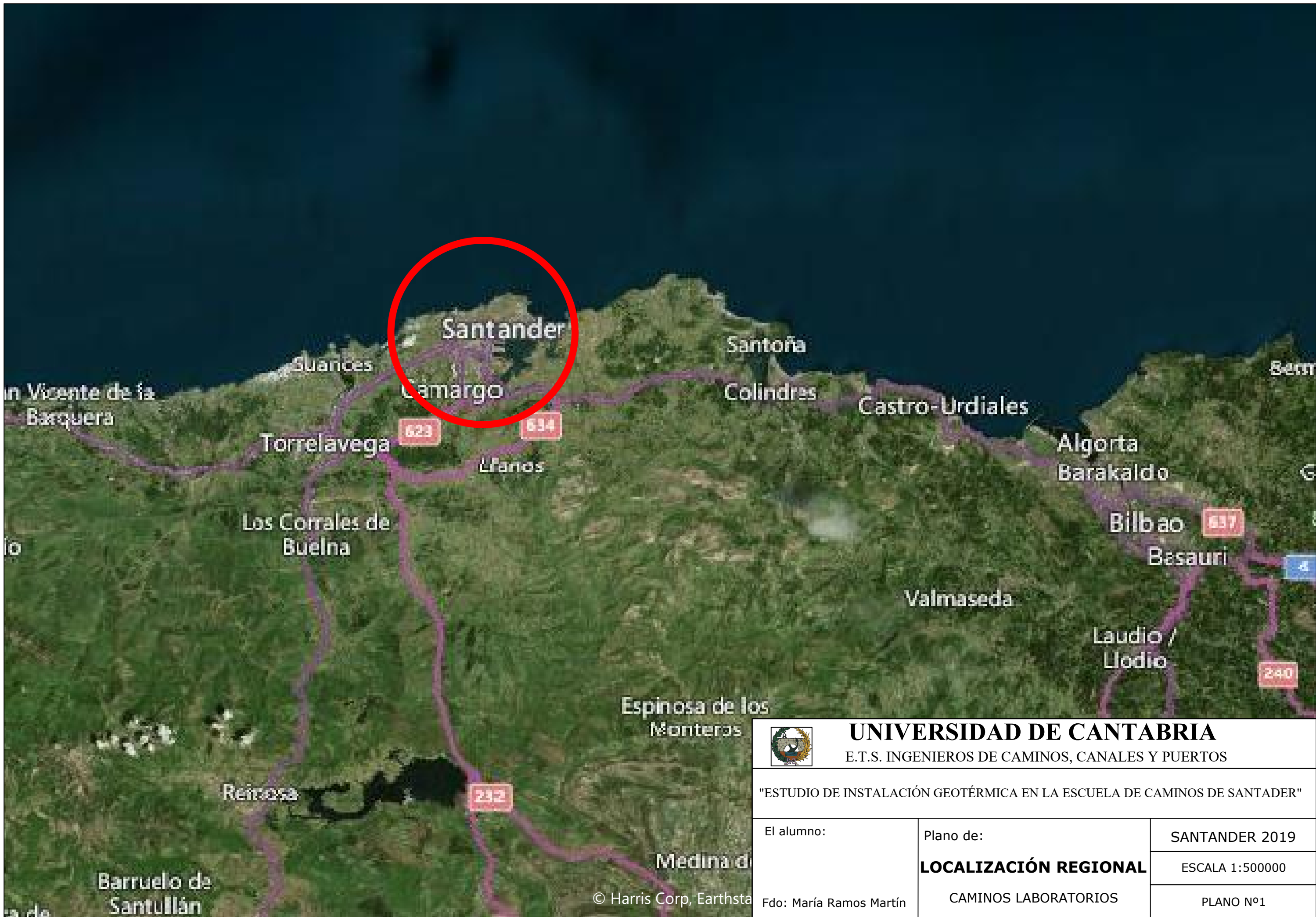
Código	Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Importe
01	CAMINOS LABORATORIOS				194.983,88
01.01	Tramo Horizontal			86.635,88	
01.02	Sondeos Verticales			90.348,00	
01.03	Fluido Caloportador			18.000,00	
02	CAMINOS AULAS				206.005,88
01.01	Tramo Horizontal			91.657,88	
01.02	Sondeos Verticales			90.348,00	
01.03	Fluido Caloportador			24.000,00	
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL					400.989,76
13% Gastos Generales					52.128,67
6% Beneficio Industrial					24.059,39
SUMA DE P.E.M, G.G. y B.I.					477.177,82
21% I.V.A.					100.207,34
TOTAL PRESUPUESTO POR CONTRATA					577.385,16
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL					577.385,16

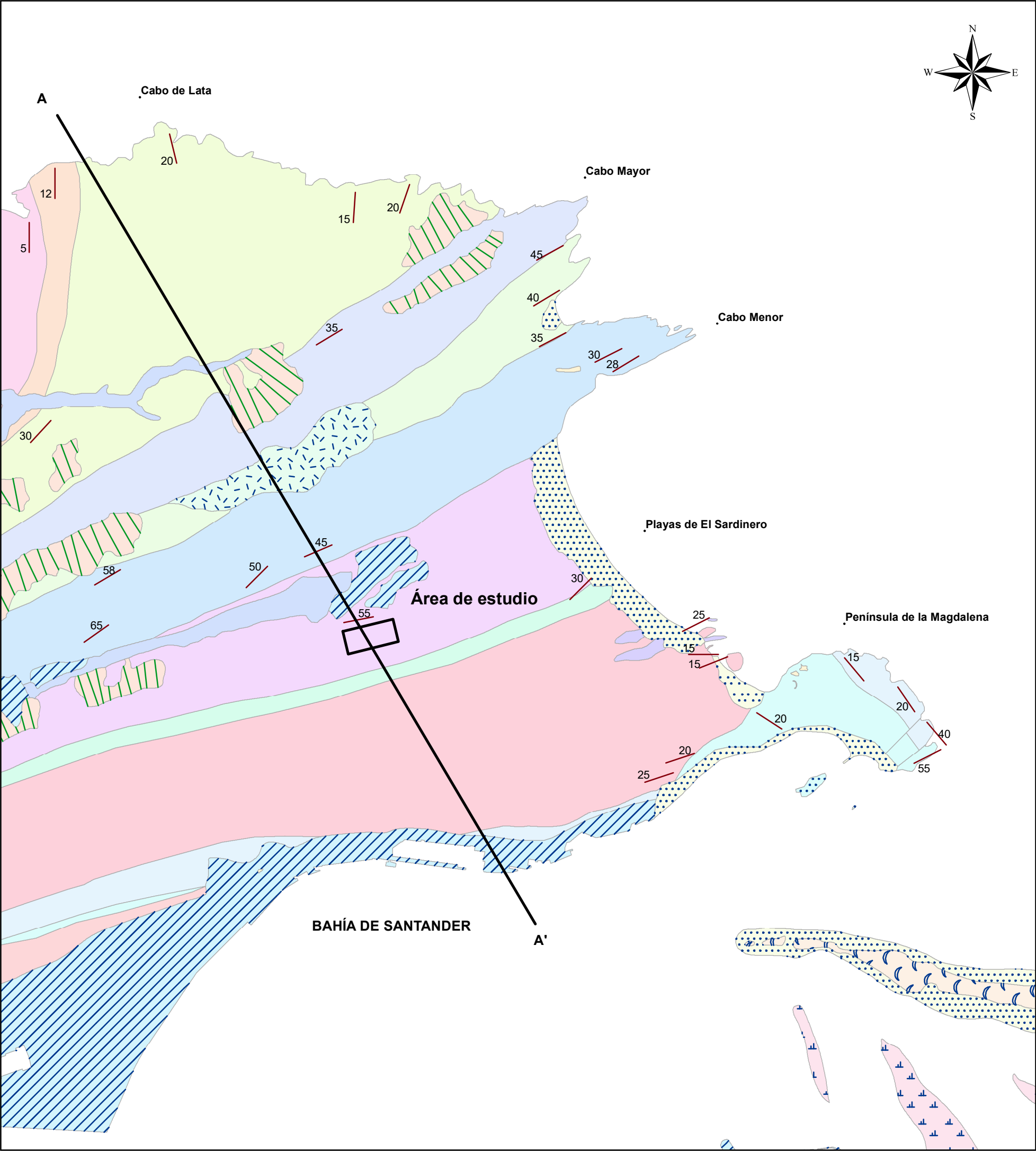
Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de QUINIENTOS SETENTA Y SIETE MIL TRESCIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS CON DIECISÉIS CÉNTIMOS.

Santander, febrero de 2019

María Ramos Martín

PLANOS





MAPA GEOLÓGICO SANTANDER

LEYENDA

FM. SUPERFICIALES

	Coluvión (Arcillas, limos, arenas con cantos)
	Aluvial (Arcillas, limos, arenas con cantos)
	Arenas de playa
	Rellenos antrópicos

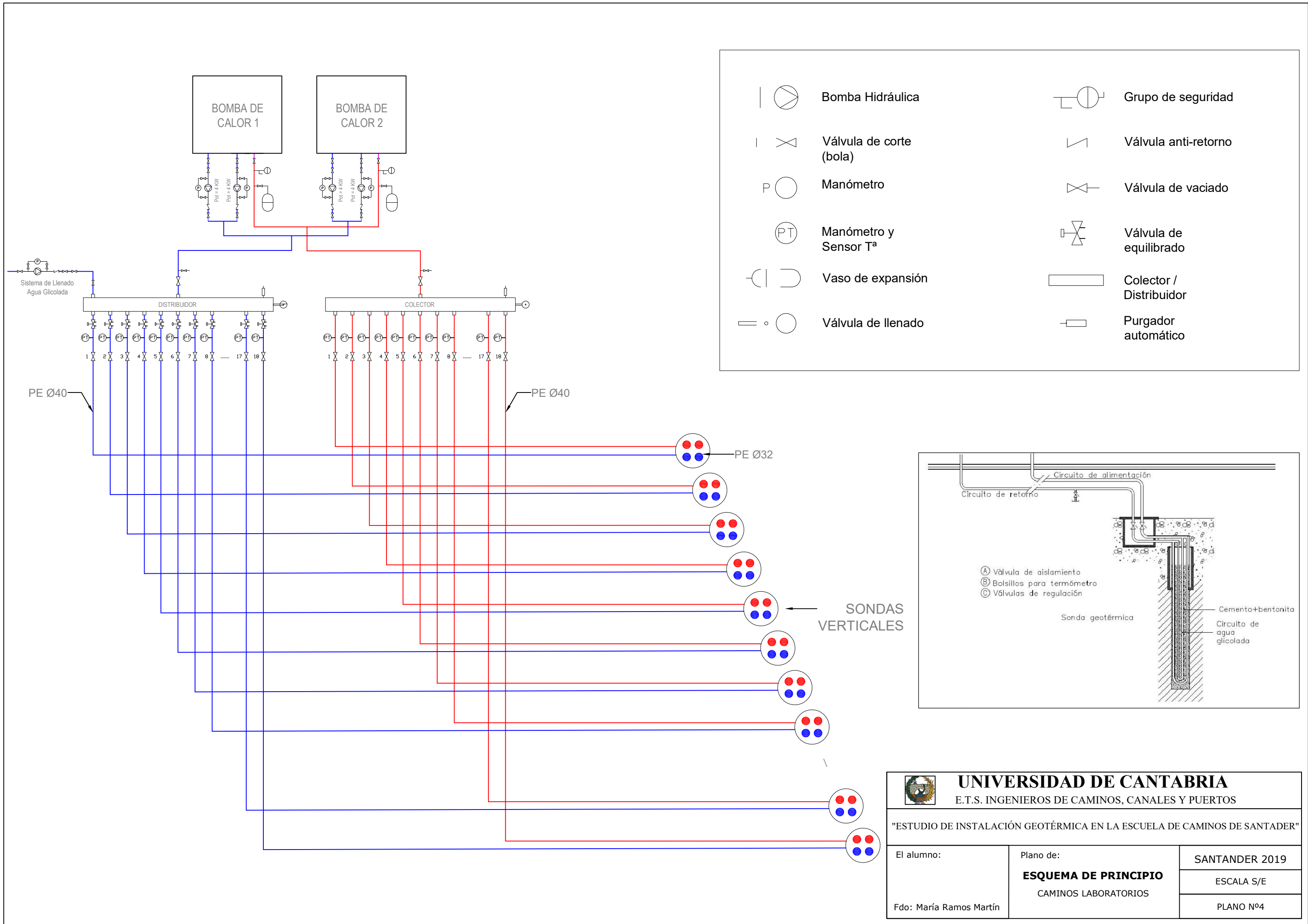
SUSTRATO ROCOSO

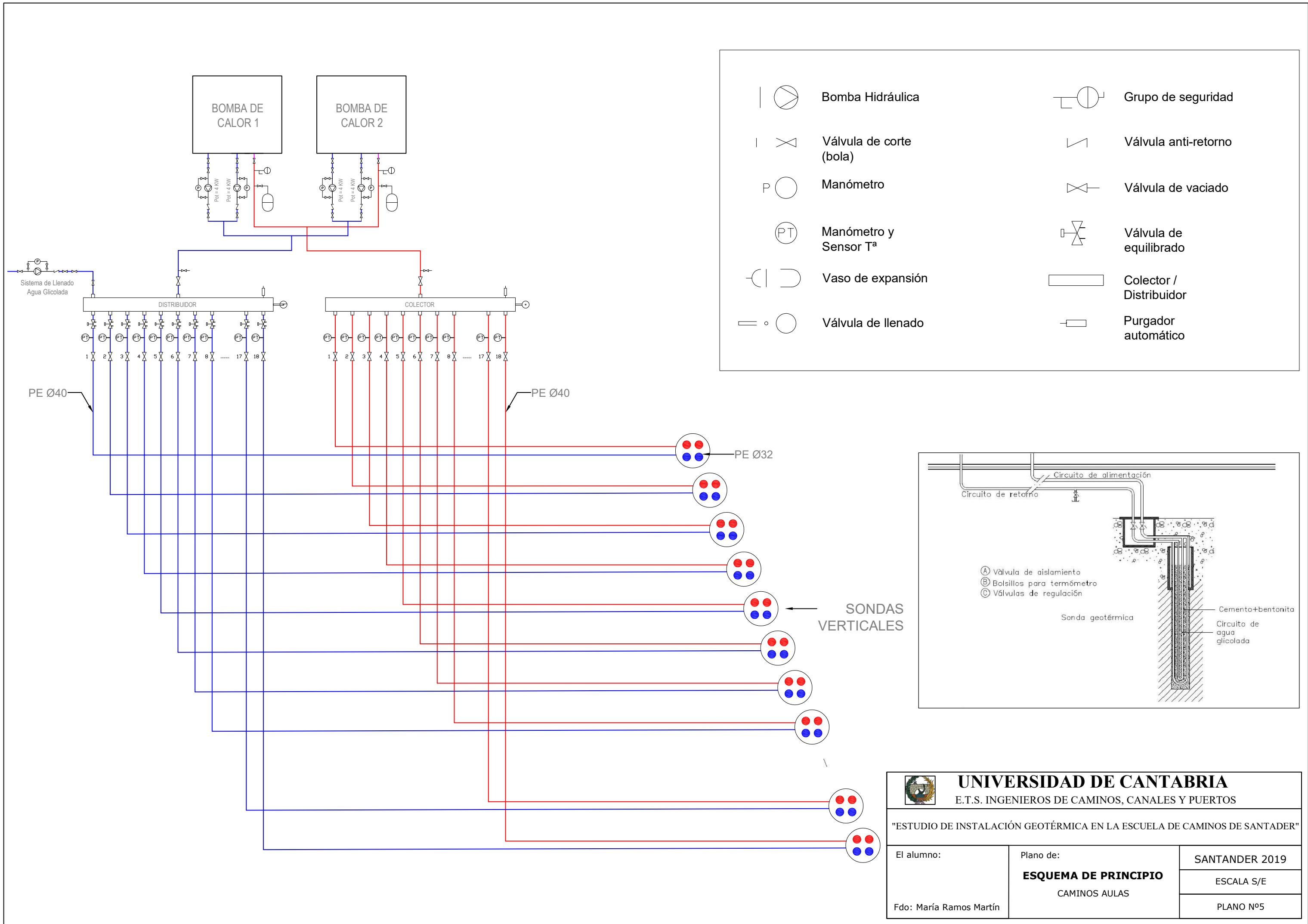
	Fm San Juan (Dolomias microcristalinas)
	Fm San Juan (Calcarenitas arenosas laminadas con abundantes algas)
	Fm Bielva (Areniscas, limolitas, lutitas carbonosas y piritosas)
	Fm Barcenaciones (Calcarenitas con glauconita, calizas, areniscas)
	Fm Caliza de Reocín (Calizas con miliolidos, rudistas)
	Fm Cuchía (Lutitas, limolitas grises, ocre y rojas y areniscas)
	Eq de la Fm Altamira (Margas, calizas margosas)
	Fm Cabo de Lata (Calizas arenosas)
	Fm El Sardinero (Margas, calizas margosas)
	Fm El Sardinero (Calizas arenosas, calcarenitas)
	Fm El Sardinero (Margas, calizas arenosas con Micraster)
	Fm El Sardinero (Calizas arenosas)

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

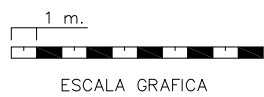
"ESTUDIO GEOTÉRMICO EN LA ESCUELA DE CAMINOS DE SANTANDER"

El alumno:	Plano de:	SANTANDER 2019
	MAPA GEOLÓGICO	ESCALA 1:20.000
Fdo: María Ramos Martín	SANTANDER	PLANO Nº2









<div><div><div>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA</div><div>E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS</div></div></div>		
"ESTUDIO DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA EN LA ESCUELA DE CAMINOS DE SANTADER"		
El alumno:	Plano de: CAMPO DE SONDAS CAMINOS AULAS	SANTANDER 2019
		ESCALA 1:400
		PLANO Nº7
Fdo: María Ramos Martín		